

EFEK BEBAN GEMPA DUA ARAH DAN TIGA ARAH TERHADAP KAPASITAS STRUKTUR JEMBATAN RANGKA TIPE K-TRUSS

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ISNANA PUSPITASARI

NIM. 145060101111025

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN**EFEK GEMPA DUA ARAH DAN TIGA ARAH TERHADAP KAPASITAS
STRUKTUR JEMBATAN RANGKA TIPE K-TRUSS****SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ISNANA PUSPITASARI
NIM. 145060101111025

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 1 Juni 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng Desy Setyowulan, ST, MT, M.Sc
NIP. 2011028412032001

Dr. Eng Lilya Susanti, ST, MT
NIP. 2011028502212001

Mengetahui
Ketua Program Studi

Dr. Eng Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)
NIP. 19810220 200604 1002

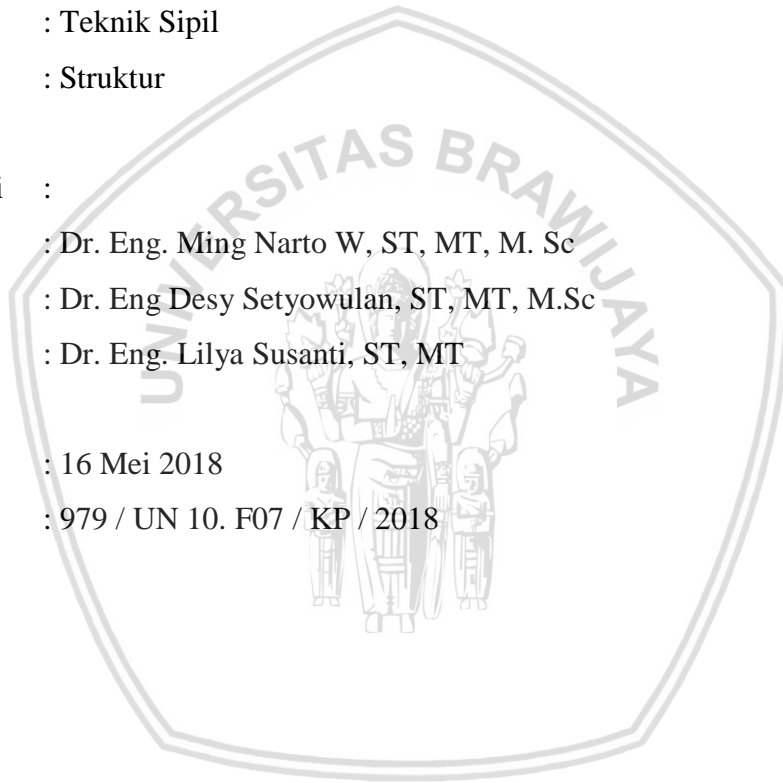
HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :
Efek Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Rangka Tipe
K-Truss

Nama Mahasiswa : Isnana Puspitasari
NIM : 145060101111025
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :
Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Ming Narto W, ST, MT, M. Sc
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng Desy Setyowulan, ST, MT, M.Sc
Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT

Tanggal Ujian : 16 Mei 2018
SK Penguji : 979 / UN 10. F07 / KP / 2018



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

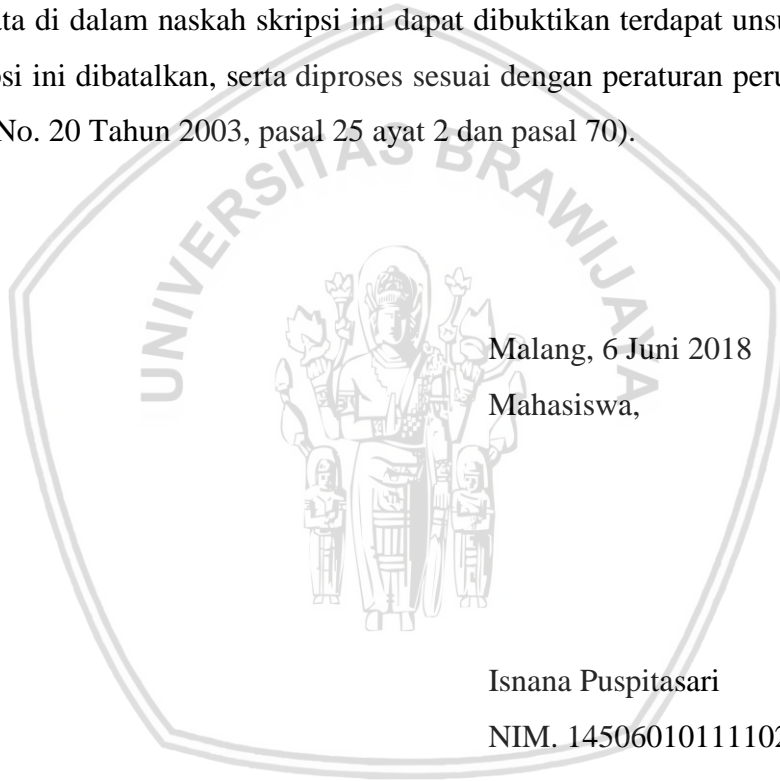
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 6 Juni 2018

Mahasiswa,

Isnana Puspitasari

NIM. 145060101111025



RIWAYAT HIDUP

Isnana Puspitasari , kelahiran Kediri, 21 Maret 1996, putra kedua dari Bapak Sumarwan dan Ibu Tris Kuncahayani. Mulai mengenyam bangku pendidikan dasar di SD Negeri Pelem 1 Pare sejak tahun 2002 dan lulus pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan pendidikan di MTs Negeri 1 Pare Kediri dan lulus pada tahun 2011. Dan pada tahun 2014 telah dinyatakan lulus dari SMA Negeri 2 Pare Program Ilmu Pengetahuan Alam.

Selama mengenyam pendidikan di MTs Negeri 1 Pare, telah mengikuti lomba catur se-Kabupaten Kediri, aktif dalam kegiatan non akademis seperti Pramuka dan olahraga Bola Voli. Dan saat berada SMA Negeri 2 Pare telah aktif dalam kegiatan akademis maupun non akademis, yaitu INKAI.

Pada tahun 2014 mulai menjejak bangku perguruan tinggi tepatnya di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Selama masa kegiatan perkuliahan, aktif dalam kegiatan akademik, yakni Ketekniksipilan di Universitas Hassanuddin di Makassar, serta beberapa kegiatan non-akademik seperti menjadi Anggota Department Himpunan Mahasiswa Sipil, Asisten Tugas Besar Mata Kuliah Analisis Struktur II, Penanggung Jawab Danus Acara Studi Ekskursi, dan Anggota Ruangan Acara Probinmaba.

Malang, Juni 2018

Penyusun

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena hanya berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul “Efek Beban Dua Arah dan Tiga Arah terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Rangka Tipe K-Truss”.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Marwan (Ayah), Ibu Tris (Ibu) sebagai orangtua yang selalu mendukung dan memberikan semangat dan motivasi dalam mengerjakan skripsi, sekaligus sebagai sumber dana dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Eng. Desy Setyowulan., ST, MT, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT selaku Dosen Pembimbing II.
4. Bapak Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc selaku Ketua Majelis/Penguji.
5. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan dosen pembimbing lomba DEDIKASI 2018 di Makassar.
6. Bapak Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.) selaku Kaprodi S1 Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya dosen pembimbing lomba DEDIKASI 2018 di Makassar..
7. Bapak Ir. Ludfi Djakfar, MSCE, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan.
8. Mbak Ike sebagai kakak yang tentunya juga sangat mendukung dan juga menjadi sumber dana kedua setelah orangtua saya.
9. Sherla dan Ari (Adik) yang selalu menghibur serta yang slalu dirindukan sang kakak dikala stress dalam menyelesaikan tugas akhir.
10. Keluarga Ursa Mayor, yakni Pakde dan Bude yang selalu mendukung dan menasehati saya.
11. Tiwul yang selalu menemani 1x24 jam dalam tiga tahun terakhir sehingga saya tidak pernah merasa sendiri dan selalu membuat saya bersyukur bahwa tidak hanya saya yang “sendiri”.

12. Dhea imut yang telah mendongengi saya di tiap malam dengan cerita cintanya sehingga saya bisa tertidur pulas.
13. Mas Gagas yang selalu menjadi tempat berkeluh kesah setelah sepulang perkuliahan.
14. Panjul, kura-kura Ursa Mayor, yang selalu menyambut saya sepulang perkuliahan.
15. Thiya Iskanti, teman *Babi Ngepet*, yang selalu mengomel tapi selalu ada disamping saya selama empat tahun perkuliahan.
16. Arinda Andriana, teman *Babi Ngepet*, yang selalu memarahi saya tapi selalu ada disamping saya selama empat tahun perkuliahan.
17. Sonnia Ayunda yang selalu menjadi segala partner akademis maupun non-akademis PI yang selalu menemani dan mendukung saya dalam segala hal selama perkuliahan.
18. Naadiyah Afifah Putri yang selalu menemani dan membenarkan segala hal selama perkuliahan.
19. Septiyan Candra sebagai partner susah PROKOM, SP1, SP2, dan PKL yang selalu mendukung sekaligus menyusahkan saya selama perkuliahan berlangsung namun merupakan *mybestpartner* Pa selama perkuliahan.
20. Iqbal Asmara dan Azka Aulia selaku partner skripsi yang selalu menghibur dan menguatkan selama proses mengerjakan tugas akhir berlangsung.
21. Fajrina dan Alit yang selalu mendukung saya selama perkuliahan
22. Tante Lily, Bapak Dradjat *Community*, yang selalu membantu jalannya skripsi termasuk memberikan zona nyaman untuk mengerjakan skripsi.
23. Itong, Bella, Cindy, Nadya, Elita, dan Gembur yang selalu mendengarkan saya dalam berkeluh kesah selama perkuliahan.
24. Halida, Nabila, Rahman, Diki, Ical, dan Finia selaku teman perjuangan sepenanggungan yang selalu menyebalkan dan yang terlalu banyak menyebabkan masalah namun pasti selalu akan saya rindukan.
25. Seluruh anggota Department Amara 2012 - 2017 yang selalu mendukung saya selama perkuliahan berlangsung.
26. Sonnia, Nabil, Ical, Lola, Kamil, Inyol, Bartin, Agung, dan Desi, selaku keluarga NEC
27. SIPIL Cantik'14 (Shinta, Dhia, Afu, Firda, Zudha, Novita, Ime, dll) yang selalu menghibur saya dan mendukung saya selama perkuliahan berlangsung.
28. SIPIL 14 sebagai teman seperjuangan selama perkuliahan.

29. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang memberikan dukungan dan bantuan selama penelitian ini berlangsung.
30. Semua orang yang selalu menanyakan kapan lulus sehingga mendorong saya hingga saya sejauh ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian lanjutan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan sipil.

Malang, Juni 2018

Penulis



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
RINGKASAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Kegiatan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tegangan dan Regangan	5
2.1.1 Tegangan	5
2.2.1 Regangan	6
2.2 Material Baja	7
2.2.1 Umum	7
2.2.2 Jenis Baja	9
2.2.3 Profil Baja	10
2.3 Jembatan	11
2.3.1 Umum	11
2.3.2 Pembebanan Struktur Jembatan	13
2.3.3 Jembatan Rangka	15
2.4 Gempa Bumi	17
2.4.1 Umum	17
2.4.2 Penyebab Gempa Bumi	16
2.5 Analisa Nilai Eigen	19
2.6 Analisis Dinamis	22
2.7 Software Abaqus	23

BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Data Jembatan	25
3.1.1 Data Umum Jembatan	25
3.1.2 Data Teknis Jembatan	25
3.2 Analisa Nilai Eigen	28
3.3 Analisis Dinamis	28
3.4 Metode Penelitian	29
3.5 Pemodelan dengan Software ABAQUS	31
 BAB IV PEMBAHASAN	 37
4.1 Pemodelan Struktur Jembatan Rangka <i>K-Truss</i> K.H. Ahmad Fattah	37
4.1.1 Gambaran Umum	38
4.1.2 Spesifikasi Material	38
4.2 Hasil Simulasi Numerik Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah.....	38
4.3 Hasil Simulasi Dinamis Jembatan Rangka Tipe K-Truss.....	40
4.4 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa Dua Arah.....	41
4.4.1 Batang Dekat Tumpuan Sendi.....	44
4.4.2 Batang Dekat Tumpuan Rol.....	47
4.4.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas.....	49
4.4.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah.....	52
4.4.5 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau	56
4.5 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa Tiga Arah.....	58
4.5.1 Batang Dekat Tumpuan Sendi.....	58
4.5.2 Batang Dekat Tumpuan Rol.....	61
4.5.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas.....	64
4.5.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah.....	67
4.5.5 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau	70
4.6 Perbandingan Respon Struktur Jembatan Antara Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah.....	72
 BAB V PENUTUP	 75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
 DAFTAR PUSTAKA	 77

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Mekanik Baja Struktural	9
Tabel 2.2	Faktor Beban untuk Berat Sendiri	14
Tabel 2.3	<i>Typical Housner Type and Current Japanese Damping Values</i>	22
Tabel 3.1	Dimensi Profil Baja Model	26
Tabel 3.2	Input data <i>True Strain and True Stress</i>	27
Tabel 4.1	Hasil Analisis Eigen pada Struktur Jembatan Rangka.....	40
Tabel 4.2	Nilai Modulus Elastisitas pada Siklus Pertama Batang.....	55
Tabel 4.3	Selisih Nilai Regangan Antar Batang Yang Ditinjau.....	57
Tabel 4.4	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	57
Tabel 4.5	Nilai Modulus Elastisitas pada Siklus Pertama Batang.....	70
Tabel 4.6	Selisih Nilai Regangan Antar Batang yang Ditinjau.....	71
Tabel 4.7	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	72
Tabel 4.8	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Gaya Tarik Aksial.....	6
Gambar 2.2	Gaya Tekan Aksial.....	6
Gambar 2.3	Regangan (<i>strain</i>)	7
Gambar 2.4	Hubungan tegangan-regangan.....	8
Gambar 2.5	Profil Baja.....	10
Gambar 2.6	Bagian-bagian konstruksi jembatan.....	13
Gambar 2.7	Intensitas beban lajur “D”.....	14
Gambar 2.8	Tipe jembatan rangka.....	16
Gambar 2.9	Geometri jembatan rangka yang telah umum.....	17
Gambar 2.10	Jalur penyebaran pusat gempa bumi di seluruh dunia.....	19
Gambar 2.11	Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar pertama.....	21
Gambar 2.12	Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar kedua.....	21
Gambar 2.13	Rekaman gempa	22
Gambar 2.14	Diagram aliran proses <i>runnings</i>	24
Gambar 3.1	Layout jembatan pada software ABAQUS	26
Gambar 3.2	Hubungan tegangan – regangan tipikal.....	27
Gambar 3.3	Data gempa El Centro, California	28
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	31
Gambar 3.5	Hasil <i>input</i> koordinat-koordinat setiap titik pada jembatan <i>K-Truss</i>	26
Gambar 3.6	Penggabungan koordinat-koordinat membentuk jembatan <i>K-Truss</i>	27
Gambar 3.7	<i>Input</i> mutu material baja yang digunakan.....	28
Gambar 3.8	<i>Input</i> dimensi profil baja yang digunakan.....	31
Gambar 3.9	Perintah <i>input boundary condition</i>	26
Gambar 4.1	<i>Layout</i> Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah tampak 2 dimensi.....	37
Gambar 4.2	<i>Layout</i> Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah tampak 3 dimensi.....	38
	Tampak samping bagian – bagian jembatan yang ditinjau	38
	Tampak atas bagian – bagian jembatan yang ditinjau	39
Gambar 4.5	Bentuk mode 1 jembatan rangka.....	41

Gambar 4.6	Bentuk mode 5 jembatan rangka.....	41
Gambar 4.7	Bentuk mode 6 jembatan rangka.....	42
Gambar 4.8	Arah input beban gempa pada masing – masing tumpuan.....	43
Gambar 4.9	Arah input beban gempa pada masing – masing tumpuan.....	44
Gambar 4.10	Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 2 arah.....	44
Gambar 4.11	Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 2 arah.....	45
Gambar 4.12	Deformasi akibat beban gempa 2 arah.....	45
Gambar 4.13	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	46
Gambar 4.14	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	46
Gambar 4.15	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	47
Gambar 4.16	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	48
Gambar 4.17	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol.....	49
Gambar 4.18	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	49
Gambar 4.19	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	50
Gambar 4.20	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	50
Gambar 4.21	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	51
Gambar 4.22	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	51
Gambar 4.23	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	52
Gambar 4.24	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	52
Gambar 4.25	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	53
Gambar 4.26	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	53
Gambar 4.27	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	54
Gambar 4.28	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	54
Gambar 4.29	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama.....	55
Gambar 4.30	Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau.....	56
Gambar 4.31	Arah input beban gempa dua arah pada masing – masing tumpuan	58
Gambar 4.32	Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 3 arah	59
Gambar 4.33	Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 3 arah.	59
Gambar 4.34	Deformasi akibat beban gempa 3 arah.	60

Gambar 4.35	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	61
Gambar 4.36	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	61
Gambar 4.37	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	62
Gambar 4.38	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	62
Gambar 4.39	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol.....	63
Gambar 4.40	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	64
Gambar 4.41	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol...	64
Gambar 4.42	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	65
Gambar 4.43	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	65
Gambar 4.44	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	66
Gambar 4.45	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	66
Gambar 4.46	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	67
Gambar 4.47	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	67
Gambar 4.48	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	68
Gambar 4.49	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	68
Gambar 4.50	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	69
Gambar 4.51	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama.....	69
Gambar 4.52	Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau.....	70
Gambar 4.53	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah atas akibat beban gempa dua arah dan tiga arah.....	72
Gambar 4.54	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bawah akibat beban gempa dua arah dan tiga arah.....	73
Gambar 4.55	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi akibat beban gempa dua arah dan tiga arah	73
Gambar 4.56	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol akibat beban gempa dua arah dan tiga arah	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
RINGKASAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Kegiatan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tegangan dan Regangan	5
2.1.1 Tegangan	5
2.2.1 Regangan	6
2.2 Material Baja	7
2.2.1 Umum	7
2.2.2 Jenis Baja	9
2.2.3 Profil Baja	10
2.3 Jembatan	11
2.3.1 Umum	11
2.3.2 Pembebanan Struktur Jembatan	13
2.3.3 Jembatan Rangka	15
2.4 Gempa Bumi	17
2.4.1 Umum	17
2.4.2 Penyebab Gempa Bumi	16
2.5 Analisa Nilai Eigen	19
2.6 Analisis Dinamis	22
2.7 Software Abaqus	23

BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Data Jembatan	25
3.1.1 Data Umum Jembatan	25
3.1.2 Data Teknis Jembatan	25
3.2 Analisa Nilai Eigen	28
3.3 Analisis Dinamis	28
3.4 Metode Penelitian	29
3.5 Pemodelan dengan Software ABAQUS	31
BAB IV PEMBAHASAN	37
4.1 Pemodelan Struktur Jembatan Rangka <i>K-Truss</i> K.H. Ahmad Fattah	37
4.1.1 Gambaran Umum	38
4.1.2 Spesifikasi Material	38
4.2 Hasil Simulasi Numerik Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah	38
4.3 Hasil Simulasi Dinamis Jembatan Rangka Tipe K-Truss	40
4.4 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa Dua Arah	41
4.4.1 Batang Dekat Tumpuan Sendi	44
4.4.2 Batang Dekat Tumpuan Rol	47
4.4.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas	49
4.4.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	52
4.4.5 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau	56
4.5 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa Tiga Arah	58
4.5.1 Batang Dekat Tumpuan Sendi	58
4.5.2 Batang Dekat Tumpuan Rol	61
4.5.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas	64
4.5.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	67
4.5.5 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau	70
4.6 Perbandingan Respon Struktur Jembatan Antara Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah	72
BAB V PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Mekanik Baja Struktural	9
Tabel 2.2	Faktor Beban untuk Berat Sendiri	14
Tabel 2.3	<i>Typical Housner Type and Current Japanese Damping Values</i>	22
Tabel 3.1	Dimensi Profil Baja Model	26
Tabel 3.2	Input data <i>True Strain and True Stress</i>	27
Tabel 4.1	Hasil Analisis Eigen pada Struktur Jembatan Rangka.....	40
Tabel 4.2	Nilai Modulus Elastisitas pada Siklus Pertama Batang.....	55
Tabel 4.3	Selisih Nilai Regangan Antar Batang Yang Ditinjau.....	57
Tabel 4.4	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	57
Tabel 4.5	Nilai Modulus Elastisitas pada Siklus Pertama Batang.....	70
Tabel 4.6	Selisih Nilai Regangan Antar Batang yang Ditinjau.....	71
Tabel 4.7	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	72
Tabel 4.8	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Gaya Tarik Aksial.....	6
Gambar 2.2	Gaya Tekan Aksial.....	6
Gambar 2.3	Regangan (<i>strain</i>)	7
Gambar 2.4	Hubungan tegangan-regangan.....	8
Gambar 2.5	Profil Baja.....	10
Gambar 2.6	Bagian-bagian konstruksi jembatan.....	13
Gambar 2.7	Intensitas beban lajur “D”.....	14
Gambar 2.8	Tipe jembatan rangka.....	16
Gambar 2.9	Geometri jembatan rangka yang telah umum.....	17
Gambar 2.10	Jalur penyebaran pusat gempa bumi di seluruh dunia.....	19
Gambar 2.11	Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar pertama.....	21
Gambar 2.12	Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar kedua.....	21
Gambar 2.13	Rekaman gempa	22
Gambar 2.14	Diagram aliran proses <i>runnings</i>	24
Gambar 3.1	Layout jembatan pada software ABAQUS	26
Gambar 3.2	Hubungan tegangan – regangan tipikal.....	27
Gambar 3.3	Data gempa El Centro, California	28
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	31
Gambar 3.5	Hasil <i>input</i> koordinat-koordinat setiap titik pada jembatan <i>K-Truss</i>	26
Gambar 3.6	Penggabungan koordinat-koordinat membentuk jembatan <i>K-Truss</i>	27
Gambar 3.7	<i>Input</i> mutu material baja yang digunakan.....	28
Gambar 3.8	<i>Input</i> dimensi profil baja yang digunakan.....	31
Gambar 3.9	Perintah <i>input boundary condition</i>	26
Gambar 4.1	<i>Layout</i> Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah tampak 2 dimensi.....	37
Gambar 4.2	<i>Layout</i> Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah tampak 3 dimensi.....	38
	Tampak samping bagian – bagian jembatan yang ditinjau	38
	Tampak atas bagian – bagian jembatan yang ditinjau	39
Gambar 4.5	Bentuk mode 1 jembatan rangka.....	41

Gambar 4.6	Bentuk mode 5 jembatan rangka.....	41
Gambar 4.7	Bentuk mode 6 jembatan rangka.....	42
Gambar 4.8	Arah input beban gempa pada masing – masing tumpuan.....	43
Gambar 4.9	Arah input beban gempa pada masing – masing tumpuan.....	44
Gambar 4.10	Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 2 arah.....	44
Gambar 4.11	Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 2 arah.....	45
Gambar 4.12	Deformasi akibat beban gempa 2 arah.....	45
Gambar 4.13	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	46
Gambar 4.14	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	46
Gambar 4.15	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	47
Gambar 4.16	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	48
Gambar 4.17	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol.....	49
Gambar 4.18	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	49
Gambar 4.19	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	50
Gambar 4.20	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	50
Gambar 4.21	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	51
Gambar 4.22	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	51
Gambar 4.23	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	52
Gambar 4.24	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	52
Gambar 4.25	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	53
Gambar 4.26	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	53
Gambar 4.27	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	54
Gambar 4.28	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	54
Gambar 4.29	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama.....	55
Gambar 4.30	Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau.....	56
Gambar 4.31	Arah input beban gempa dua arah pada masing – masing tumpuan	58
Gambar 4.32	Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 3 arah	59
Gambar 4.33	Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 3 arah.	59
Gambar 4.34	Deformasi akibat beban gempa 3 arah.	60

Gambar 4.35	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	61
Gambar 4.36	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	61
Gambar 4.37	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	62
Gambar 4.38	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	62
Gambar 4.39	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol.....	63
Gambar 4.40	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	64
Gambar 4.41	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol...	64
Gambar 4.42	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	65
Gambar 4.43	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	65
Gambar 4.44	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	66
Gambar 4.45	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	66
Gambar 4.46	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	67
Gambar 4.47	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	67
Gambar 4.48	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	68
Gambar 4.49	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	68
Gambar 4.50	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	69
Gambar 4.51	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama.....	69
Gambar 4.52	Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau.....	70
Gambar 4.53	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah atas akibat beban gempa dua arah dan tiga arah.....	72
Gambar 4.54	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bawah akibat beban gempa dua arah dan tiga arah.....	73
Gambar 4.55	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi akibat beban gempa dua arah dan tiga arah	73
Gambar 4.56	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol akibat beban gempa dua arah dan tiga arah	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
RINGKASAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Kegiatan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tegangan dan Regangan	5
2.1.1 Tegangan	5
2.2.1 Regangan	6
2.2 Material Baja	7
2.2.1 Umum	7
2.2.2 Jenis Baja	9
2.2.3 Profil Baja	10
2.3 Jembatan	11
2.3.1 Umum	11
2.3.2 Pembebanan Struktur Jembatan	13
2.3.3 Jembatan Rangka	15
2.4 Gempa Bumi	17
2.4.1 Umum	17
2.4.2 Penyebab Gempa Bumi	16
2.5 Analisa Nilai Eigen	19
2.6 Analisis Dinamis	22
2.7 Software Abaqus	23

BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Data Jembatan	25
3.1.1 Data Umum Jembatan	25
3.1.2 Data Teknis Jembatan	25
3.2 Analisa Nilai Eigen	28
3.3 Analisis Dinamis	28
3.4 Metode Penelitian	29
3.5 Pemodelan dengan Software ABAQUS	31
BAB IV PEMBAHASAN	37
4.1 Pemodelan Struktur Jembatan Rangka <i>K-Truss</i> K.H. Ahmad Fattah	37
4.1.1 Gambaran Umum	38
4.1.2 Spesifikasi Material	38
4.2 Hasil Simulasi Numerik Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah	38
4.3 Hasil Simulasi Dinamis Jembatan Rangka Tipe K-Truss	40
4.4 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa Dua Arah	41
4.4.1 Batang Dekat Tumpuan Sendi	44
4.4.2 Batang Dekat Tumpuan Rol	47
4.4.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas	49
4.4.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	52
4.4.5 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau	56
4.5 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa Tiga Arah	58
4.5.1 Batang Dekat Tumpuan Sendi	58
4.5.2 Batang Dekat Tumpuan Rol	61
4.5.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas	64
4.5.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	67
4.5.5 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau	70
4.6 Perbandingan Respon Struktur Jembatan Antara Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah	72
BAB V PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Mekanik Baja Struktural	9
Tabel 2.2	Faktor Beban untuk Berat Sendiri	14
Tabel 2.3	<i>Typical Housner Type and Current Japanese Damping Values</i>	22
Tabel 3.1	Dimensi Profil Baja Model	26
Tabel 3.2	Input data <i>True Strain and True Stress</i>	27
Tabel 4.1	Hasil Analisis Eigen pada Struktur Jembatan Rangka.....	40
Tabel 4.2	Nilai Modulus Elastisitas pada Siklus Pertama Batang.....	55
Tabel 4.3	Selisih Nilai Regangan Antar Batang Yang Ditinjau.....	57
Tabel 4.4	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	57
Tabel 4.5	Nilai Modulus Elastisitas pada Siklus Pertama Batang.....	70
Tabel 4.6	Selisih Nilai Regangan Antar Batang yang Ditinjau.....	71
Tabel 4.7	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	72
Tabel 4.8	Nilai Tegangan Maksimum Antar Batang yang Ditinjau.....	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Gaya Tarik Aksial.....	6
Gambar 2.2	Gaya Tekan Aksial.....	6
Gambar 2.3	Regangan (<i>strain</i>)	7
Gambar 2.4	Hubungan tegangan-regangan.....	8
Gambar 2.5	Profil Baja.....	10
Gambar 2.6	Bagian-bagian konstruksi jembatan.....	13
Gambar 2.7	Intensitas beban lajur “D”.....	14
Gambar 2.8	Tipe jembatan rangka.....	16
Gambar 2.9	Geometri jembatan rangka yang telah umum.....	17
Gambar 2.10	Jalur penyebaran pusat gempa bumi di seluruh dunia.....	19
Gambar 2.11	Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar pertama.....	21
Gambar 2.12	Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar kedua.....	21
Gambar 2.13	Rekaman gempa	22
Gambar 2.14	Diagram aliran proses <i>runnings</i>	24
Gambar 3.1	Layout jembatan pada software ABAQUS	26
Gambar 3.2	Hubungan tegangan – regangan tipikal.....	27
Gambar 3.3	Data gempa El Centro, California	28
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	31
Gambar 3.5	Hasil <i>input</i> koordinat-koordinat setiap titik pada jembatan <i>K-Truss</i>	26
Gambar 3.6	Penggabungan koordinat-koordinat membentuk jembatan <i>K-Truss</i>	27
Gambar 3.7	<i>Input</i> mutu material baja yang digunakan.....	28
Gambar 3.8	<i>Input</i> dimensi profil baja yang digunakan.....	31
Gambar 3.9	Perintah <i>input boundary condition</i>	26
Gambar 4.1	<i>Layout</i> Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah tampak 2 dimensi.....	37
Gambar 4.2	<i>Layout</i> Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah tampak 3 dimensi.....	38
	Tampak samping bagian – bagian jembatan yang ditinjau	38
	Tampak atas bagian – bagian jembatan yang ditinjau	39
Gambar 4.5	Bentuk mode 1 jembatan rangka.....	41

Gambar 4.6	Bentuk mode 5 jembatan rangka.....	41
Gambar 4.7	Bentuk mode 6 jembatan rangka.....	42
Gambar 4.8	Arah input beban gempa pada masing – masing tumpuan.....	43
Gambar 4.9	Arah input beban gempa pada masing – masing tumpuan.....	44
Gambar 4.10	Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 2 arah.....	44
Gambar 4.11	Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 2 arah.....	45
Gambar 4.12	Deformasi akibat beban gempa 2 arah.....	45
Gambar 4.13	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	46
Gambar 4.14	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	46
Gambar 4.15	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	47
Gambar 4.16	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	48
Gambar 4.17	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol.....	49
Gambar 4.18	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	49
Gambar 4.19	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	50
Gambar 4.20	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	50
Gambar 4.21	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	51
Gambar 4.22	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	51
Gambar 4.23	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	52
Gambar 4.24	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	52
Gambar 4.25	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	53
Gambar 4.26	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	53
Gambar 4.27	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	54
Gambar 4.28	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	54
Gambar 4.29	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama.....	55
Gambar 4.30	Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau.....	56
Gambar 4.31	Arah input beban gempa dua arah pada masing – masing tumpuan	58
Gambar 4.32	Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 3 arah	59
Gambar 4.33	Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 3 arah.	59
Gambar 4.34	Deformasi akibat beban gempa 3 arah.	60

Gambar 4.35	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	61
Gambar 4.36	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	61
Gambar 4.37	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi.....	62
Gambar 4.38	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	62
Gambar 4.39	Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol.....	63
Gambar 4.40	Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol.....	64
Gambar 4.41	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol...	64
Gambar 4.42	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	65
Gambar 4.43	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	65
Gambar 4.44	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	66
Gambar 4.45	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas.....	66
Gambar 4.46	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	67
Gambar 4.47	Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	67
Gambar 4.48	Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	68
Gambar 4.49	Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah.....	68
Gambar 4.50	Kurva <i>displacement</i> arah x.....	69
Gambar 4.51	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama.....	69
Gambar 4.52	Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau.....	70
Gambar 4.53	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah atas akibat beban gempa dua arah dan tiga arah.....	72
Gambar 4.54	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bawah akibat beban gempa dua arah dan tiga arah.....	73
Gambar 4.55	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi akibat beban gempa dua arah dan tiga arah	73
Gambar 4.56	Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol akibat beban gempa dua arah dan tiga arah	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



RINGKASAN

Isnana Puspitasari, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei, 2018, *Efek Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah Terhadap Kapasitas Struktur Jembatan K-Truss*, Dosen pembimbing : Dr. Eng. Desy Setyowulan., ST, MT, M.Sc dan Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT.

Jembatan merupakan penghubung antar wilayah yang terpisahkan akibat adanya rintangan seperti sungai, lembah, danau, dan laut. Salah satu struktur jembatan kokoh yang diterapkan di Indonesia adalah struktur jembatan *K-Truss*. Dalam modelisasi jembatan, digunakan jembatan *K-Truss* K.H. Fattah Malang. Hal tersebut dilakukan untuk memudahkan peneliti dalam menganalisis tanpa harus mendesain terlebih dahulu.

Dalam analisis suatu jembatan, salah satu beban yang perlu diperhatikan adalah beban gempa, mengingat Indonesia merupakan negara yang rawan terjadinya gempa bumi. Pada umumnya, beban gempa dianalisis hanya melalui dua arah saja. Pada penelitian ini, peneliti menganalisis jembatan akibat beban gempa tiga arah juga lalu peneliti membandingkan pengaruh diantara keduanya. *Output* yang dihasilkan dalam analisis ini berupa tegangan dan regangan.

Tahap pertama dimulai dengan melakukan pemodelan pada ABAQUS *Student Edition* dengan spesifikasi dimensi dan material yang telah disesuaikan dengan jembatan rangka *K-Truss* K.H. Fattah Malang. Jembatan dianalisis terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai eigen dari struktur jembatan itu sendiri. Kemudian, jembatan kembali dianalisis dengan memasukkan nilai eigen dan beban gempa. Pada awalnya, jembatan dianalisis menggunakan beban gempa dua arah terlebih dahulu. Setelah keluar hasil, jembatan kembali dianalisis dengan beban gempa tiga arah. Kemudian keduanya dibandingkan sehingga mendapatkan presentase pengaruh beban dua arah dan tiga arah terhadap kapasitas struktur jembatan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa beban gempa tiga arah tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap kapasitas struktur jembatan *K-Truss*. Tegangan maksimum akibat beban gempa tiga arah hanya 5.55% lebih besar dari tegangan maksimum akibat beban gempa dua arah.

Kata Kunci : jembatan, jembatan rangka K-Truss, tegangan, regangan, *time history analysis*, kapasitas struktur



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

SUMMARY

Isnana Puspitasari, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Mei 2018, The Effects of Bi-Directional and Tri-Directional Earthquake Load on the Structural Capacity of K-Truss Bridge, Supervisor: Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, MT, M.Sc and Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT .*

Bridge is connector between areas being indivisible as a result of these obstacle such as a river, the valley, lake, and sea. One of the strong bridge applied in indonesia is K-Truss bridge. In modeling, used K.H. Fattah Bridge. It was done to ease researchers to analyse without had to design first.

In the analysis of a bridge, one of load that need attention is an earthquake load, considering that Indonesia is the state of being prone to the earthquake. Generally, earthquake load analyzed only through bi-directional. In this research, researcher analyze bridge due to tri-directional earthquake load also and researcher compare influence between them. Results of the analysis showed stress and strain values.

The first step begins with the modeling of bridge structures on ABAQUS Student Edition with dimension specification and material that has been adjusted by K.H. Fattah Malang. Bridge analyzed first in order to get the eigen value from the structure of the bridgeself . Then, bridge back analyzed by inserting the eigen value and earthquake load. In the beginning , bridge analyzed using bi-directional earthquake load beforehand .After the results out, the bridge back analyzed with tri-directional earthquake load . Then they compared so getting the percentage of the influence of the bi-directional earthquake load and tri-directional earthquake load faith in capacity of the structure.

The analysis shows that tri-directional earthquake load do not have a significant effect on the capacity of the K-Truss bridge structure .The maximum stress due to tri-directional earthquake load only 5.55 % larger than maximum stress due to bi-directional earthquake load.

Keywords: *bridge , K-Truss bridge, stress, strain, time history analysis , structure capacity*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Jembatan memiliki jenis yang berbeda - beda. Pemilihan jenis jembatan disesuaikan dengan kebutuhan masyarakat dan kondisi lingkungan yang ada. Salah satu jenis jembatan yang ada di Indonesia adalah jembatan rangka tipe *K-Truss*. Jembatan tipe ini memiliki resiko tekuk yang sedikit. Hal ini disebabkan jembatan *K-Truss* memiliki elemen web berbentuk "K" dengan panjang elemen web yang pendek namun merupakan struktur jembatan yang berat. Jembatan *K-Truss* merupakan jembatan yang kokoh dengan bermaterialkan baja.

Baja merupakan material yang lebih unggul jika dibandingkan dengan material yang lain. Selain itu, baja juga mudah dalam pemasangannya di lapangan karena diproduksi di pabrik. Baja merupakan material yang paling daktail dengan memiliki tegangan leleh yang tinggi. Dalam perencanaan suatu struktur jembatan diharapkan jembatan tersebut memiliki kapasitas struktur yang tinggi. Kapasitas struktur yang mampu diterima oleh jembatan berkaitan dengan mutu baja jembatan itu sendiri. Dengan mutu baja yang ada di pasaran diharapkan mampu menahan pengaruh beban – beban yang ada. Salah satu beban yang perlu diperhitungkan adalah beban gempa, mengingat Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terjadi gempa.

Sebagian besar penduduk di Indonesia tinggal di daerah rawan gempa. Penyebab terjadinya gempa bumi di Indonesia adalah letak Indonesia pada jalur *Ring of Fire* kawasan Pasifik dan menjadi pusat pertemuan lempeng bumi. Hal yang ditakutkan dari terjadinya gempa bumi adalah rusaknya infrastruktur yang akan menimpa orang – orang di sekitarnya sehingga banyak korban jiwa berjatuhan. Gempa bumi tidak mampu dihindari, namun kerusakan infrastruktur masih mampu diminimalisir. Untuk itu perlu perencanaan infrastruktur dengan memperhitungkan beban gempa yang mungkin terjadi. *Time history analysis* atau analisis

riwayat waktu merupakan analisis dinamis yang dapat dilakukan dengan memperhatikan pergerakan tanah di sekitar lokasi struktur. Hasil analisis ini berupa beban gempa untuk setiap waktu selama durasi gempa, sehingga diperoleh nilai percepatan gempa itu sendiri.

Dalam perencanaan seringkali hanya memperhitungkan beban gempa dua arah tanpa memperhitungkan arah lainnya. Pada penelitian ini dilakukan analisis efek beban gempa dua arah dan tiga arah terhadap kapasitas struktur jembatan rangka tipe *K-Truss* sehingga diharapkan dapat mengetahui perilaku dari struktur jembatan antara beban gempa dua arah dan tiga arah, juga dapat mendekati perilaku struktur jembatan ketika terjadi gempa pada keadaan yang sesungguhnya.

1.2. Rumusan masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan untuk analisis adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kapasitas struktur jembatan tipe *K-Truss* apabila diberikan beban gempa dua arah dan tiga arah?
2. Bagaimana daktilitas struktur jembatan tipe *K-Truss* apabila diberikan beban gempa dua arah dan tiga arah?

1.3. Maksud dan tujuan

Maksud dan tujuan penulisan skripsi ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kapasitas struktur jembatan tipe *K-Truss* apabila diberikan beban gempa dua arah dan tiga arah?
2. Mengetahui daktilitas struktur jembatan tipe *K-Truss* apabila diberikan beban gempa dua arah dan tiga arah?

1.4. Batasan masalah

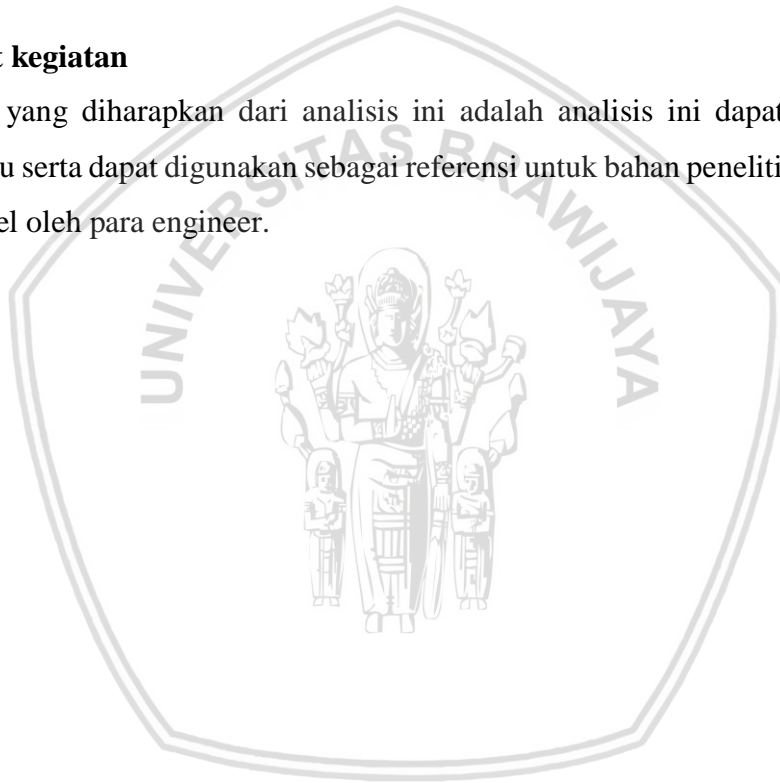
Adapun batasan - batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Jembatan yang digunakan merupakan jembatan rangka tipe *K-Truss*.
2. Jembatan yang dianalisis merupakan rangka utama jembatan *K-Truss* K.H. Ahmad Fattah Malang.
3. Spesifikasi dimensi jembatan disesuaikan dengan melakukan pendekatan melalui pengukuran di lapangan.
4. Pemodelan struktur jembatan dilakukan dengan menggunakan *software ABAQUS Student Edition*.

5. Material yang digunakan disesuaikan dengan mutu baja yang ada di SNI 03-1729-2002 yakni BJ-41.
6. Pembebanan yang digunakan hanya beban sendiri dan beban gempa dua arah dan tiga arah.
7. Menggunakan analisis dinamis *non-linear* yaitu dengan *time-history* (riwayat waktu) gempa El Centro di California.
8. Analisis dinamis riwayat waktu dilakukan dengan menggunakan *software* ABAQUS *Student Edition*.

1.5. Manfaat kegiatan

Manfaat yang diharapkan dari analisis ini adalah analisis ini dapat menjadi sebuah pengetahuan baru serta dapat digunakan sebagai referensi untuk bahan penelitian ataupun dalam pembuatan model oleh para engineer.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tegangan dan Regangan

2.1.1 Tegangan

Tegangan (*stress*) merupakan perbandingan antara gaya luar yang bekerja dengan luas penampang pada benda tersebut atau dapat didefinisikan dengan gaya per satuan luas. *True stress* adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (actual). Secara matematis, tegangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma_{\text{eng}} = \frac{F_n}{A} \quad (2.1)$$

dimana :

σ_{eng} = tegangan (kN/mm²)

F_n = gaya yang bekerja (kN)

A = luas penampang (mm²)

sedangkan true stress d dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F_n}{A_0} \quad (2.2)$$

dimana :

σ = *true stress* (kN/mm²)

F_n = gaya yang bekerja (kN)

A_0 = luas permukaan sebenarnya (mm²),

Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan. Tegangan normal dapat berbentuk:

a. Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



Gambar 2.1 Gaya tarik aksial

b. Tegangan Tekan (Compressive Stress)

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut. Maka gaya tarik aksial



tersebut menghasilkan tegangan tekan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.

Gambar 2.2 Gaya tekan aksial

2.1.2 Regangan

Regangan merupakan perubahan bentuk per satuan panjang pada suatu batang. Setelah suatu benda mendapatkan gaya – gaya luar, benda akan mengalami perubahan bentuk (regangan). Perubahan bentuk total (total deformation) yang dihasilkan suatu batang dinyatakan dengan huruf Yunani δ (delta). *True strain* adalah regangan yang dihitung secara bertahap (increment strain), dimana regangan dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda. Secara matematis, regangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\epsilon_{\text{eng}} = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (2.3)$$

dimana :

ϵ_{eng} = regangan

$(L - L_0)$ = perubahan panjang (m)

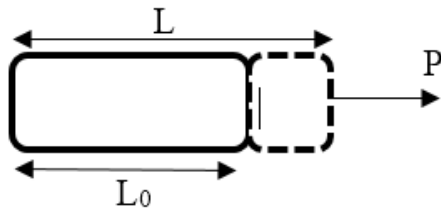
L_0 = panjang awal (m)

sedangkan *true strain* didapat dituliskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad (2.4)$$

dimana :

ϵ = true strain



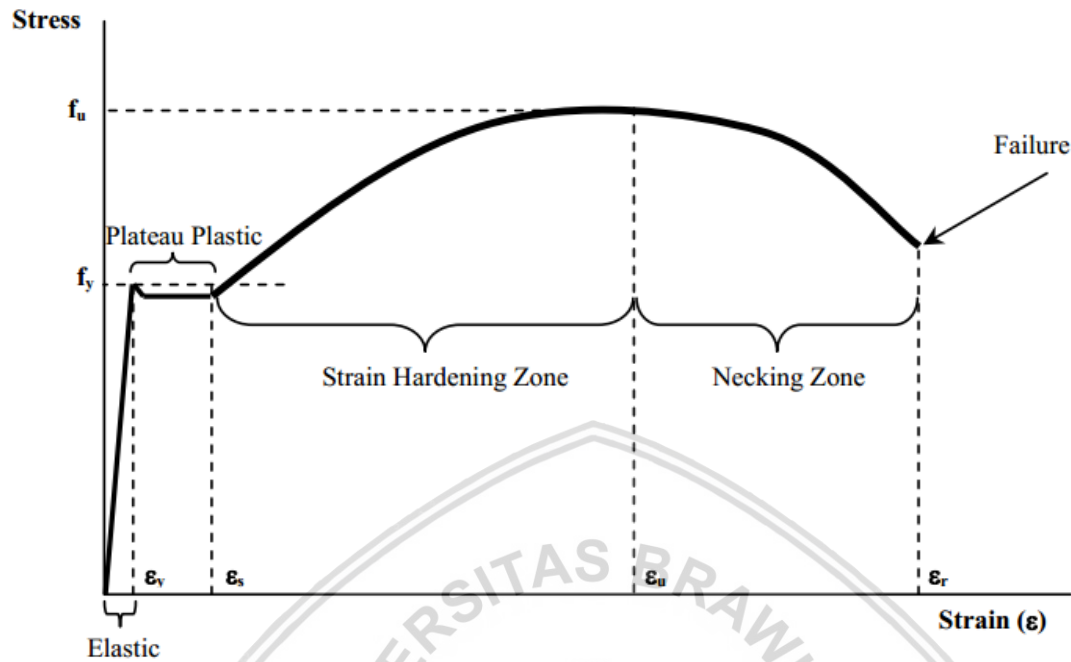
Gambar 2.3 Regangan (strain)

2.2 Material Baja

2.2.1 Umum

Baja merupakan material umum yang digunakan dalam suatu konstruksi. Baja merupakan material campuran (*alloy*) dengan komponen utama berupa besi (Fe) beserta sejumlah karbon dan sebagian kecil senyawa lainnya. Berbagai variasi property baja tersebut (kekuatan dan daktilitas) ditentukan oleh komposisi kimiawi dari sejumlah komponen pembentuknya.

Daktilitas merupakan kemampuan material mengembangkan regangannya dimulai dari pertama leleh hingga putus. Parameter kekuatan dan daktilitas dari material adalah dua karakteristik yang sangat dibutuhkan oleh para desainer. Properti material sering dideskripsikan dalam bentuk hubungan tegangan regangan yang merupakan karakteristik dari sejumlah baja struktural.



Gambar 2.4 Hubungan tegangan-regangan

Sumber: Agus Setiawan (2013).

Dari gambar 2.1, dapat kita lihat bahwa terdapat 4 zona perilaku yaitu:

1. Zona elastik , zona awal regangan, tegangan bersifat proporsional, kemiringan linier yang ada merupakan modulus young E yang disebut juga sebagai modulus elastisitas. Zona ini berakhir dengan ditandai tercapainya kelelahan material (f_y).
2. Zona plastik, pada zona ini hanya terjadi peningkatan nilai regangan, namun tidak mengalami peningkatan nilai tegangan. Zona ini berbentuk garis datar (*flat plateau*).
3. Zona *strain hardening*, pada zona ini secara bertahap nilai tegangan meningkat hingga mencapai ultimit (f_u).
4. Zona *necking*, pada zona ini nilai regangan bertambah dan nilai tegangan cenderung menurun dan diakhiri dengan kegagalan fraktur.

Penggunaan struktur baja, apabila dilihat pada bangunan dan perbandingan (ratio) antara kekuatan berat (atau kekuatan per satuan berat) harus dipertahankan tinggi, maka bajalah yang

dapat memenuhinya. Baja konstruksi juga memiliki keuntungan dan kelemahan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan baja adalah keseragaman bahan dan sifat – sifatnya yang dapat diduga secara cukup tepat. Kestabilan dimension, kemudahan pembuatan, dan cepatnya pelaksanaan juga merupakan hal – hal yang menguntungkan dari baja struktur ini.
2. Kelemahan baja adalah mudahnya bahan ini mengalami korosi (tidak semua jenis baja) dan berkurangnya kekuatan pada temperatu tinggi.

2.2.2 Jenis Baja

Menurut SNI 03-1729-2002, baja struktur dapat dibedakan berdasarkan kekuatannya menjadi beberapa jenis, yakni BJ 34, BJ 37, BJ 41, BJ 50, dan BJ 55. Besarnya tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) berbagai jenis baja struktur disajikan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 2.1

Sifat Mekanik Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum, f_y (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: SNI 03-1729-2002

Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan (SNI 03- 1729-2002) sebagai berikut:

Modulus elastisitas : E = 200.000 MPa

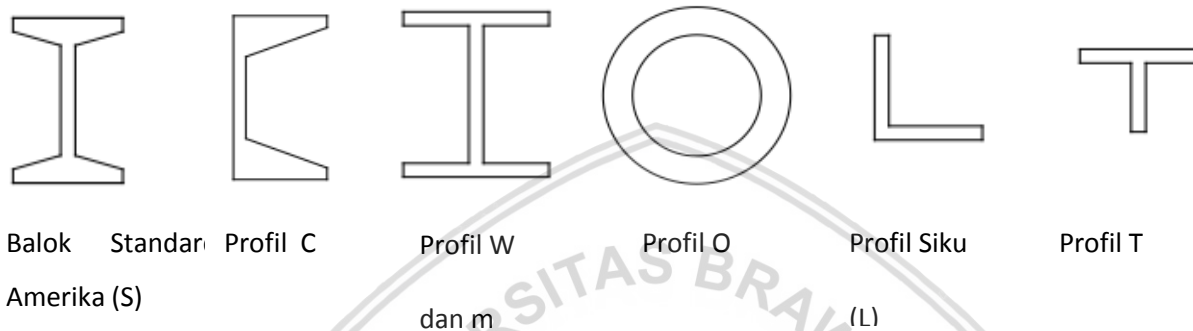
Modulus geser : G = 80.000 MPa

Nisbah poisson : μ = 0,3

Koefisien pemuaian : α = 12×10^{-6} / oC

2.2.3 Profil Baja

Di pasaran, banyak jenis bentuk profil baja struktural yang disediakan. Semua bentuk profil tersebut mempunyai kelebihan dan kelemahan tersendiri. Beberapa jenis profil baja menurut AISCM bagian I diantaranya adalah profil IWF, tiang tumpu (HP), O, C, profil siku (L), dan profil T struktural.



Gambar 2.5 Profil baja

Profil IWF terutama digunakan sebagai elemen struktur balok dan kolom. Semakin tinggi profil ini, maka semakin ekonomis untuk banyak aplikasi. Profil M mempunyai penampang melintang yang pada dasarnya sama dengan profil W, dan juga mempunyai aplikasi yang sama.

Profil S adalah balok standard Amerika. Profil ini memiliki bidang flens yang miring, dan web yang relative lebih tebal. Profil ini jarang digunakan dalam konstruksi, tetapi masih digunakan terutama untuk beban terpusat yang sangat besar pada bagian flens. Profil HP adalah profil jenis penumpu (bearing type shape) yang mempunyai karakteristik penampang agak bujursangkar dengan flens dan web yang hampir sama tebalnya. Biasanya digunakan sebagai fondasi tiang pancang. Bisa juga digunakan sebagai balok dan kolom, tetapi umumnya kurang efisien.

Profil C atau kanal mempunyai karakteristik flens pendek, yang mempunyai kemiringan permukaan dalam sekitar 1 : 6. Aplikasinya biasanya digunakan sebagai penampang tersusun, bracing tie, ataupun elemen dari bukan rangka (frame opening). Profil siku atau profil L adalah profil yang sangat cocok untuk digunakan sebagai bracing dan batang tarik. Profil ini biasa

digunakan secara gabungan, yang lebih dikenal sebagai profil siku ganda. Profil ini sangat baik untuk digunakan pada struktur truss.

2.3 Jembatan

2.3.1 Umum

Menurut Struyck dan Van Der Veen (1984), jembatan merupakan sebuah struktur yang dibangun melewati suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan-rintangan tersebut dapat berupa jurang, lembah, jalan rel, sungai, badan air, atau rintangan fisikal lainnya. Struktur ini sangat diperlukan untuk menunjang perkembangan dan pemerataan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Dengan kondisi wilayah Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau besar dan kecil terdiri dari sekitar 17.000 pulau. Kondisi alam Indonesia berupa pulau-pulau dengan bukit-bukit, pegunungan dan sungai-sungai besar serta kondisi tanah lunak (rawa-rawa & gambut) yang tersebar diseluruh kepulauan Indonesia, sehingga masih banyak diperlukan pembangunan jembatan yang sesuai dengan perkembangan teknologi untuk mendukung sistem jaringan jalan. Secara umum jembatan terbagi menjadi dua bagian yakni:

a) Bangunan Atas Jembatan

Bangunan atas terletak pada bagian atas konstruksi yang menopang beban-beban akibat lalu lintas kendaraan, orang, barang ataupun berat sendiri dan konstruksi (http://binamarga.pu.go.id/referensi/nspm/pedoman_teknik_2122.pdf). Yang termasuk dalam bangunan atas adalah:

1. Tiang sandaran

Tiang Sandaran digunakan untuk memberi rasa aman bagi kendaraan dan orang yang akan melewati jembatan tersebut. Fungsi dari tiang sandaran adalah sebagai perletakan dari pipa sandaran. Biasanya tingginya 125-145 cm dengan lebar 16 cm dan tebal 10 cm.

2. Trotoar

Trotoar adalah bagian yang digunakan sebagai perlintasan bagi pejalan kaki. Biasanya memiliki lebar 0,5-2,0 m.

3. Lantai trotoar

Lantai Trotoar adalah lantai tepi dari plat jembatan yang berfungsi menahan beban-beban yang terjadi akibat tiang sandaran, pipa sandaran, beban trotoar dan beban pejalan kaki.

4. Lantai kendaraan

Lantai Kendaraan adalah bagian tengah dari plat jembatan yang berfungsi sebagai perlintasan kendaraan. Lebar jalur untuk kendaraan dibuat cukup untuk perlintasan dua buah kendaraan yang besar sehingga kendaraan dapat melaluinya dengan leluasa.

5. Gelagar

Gelagar pada sebuah struktur jembatan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban lantai kendaraan, baik beban mati maupun beban hidup ke balok diafragma atau balok melintang.

6. Gelagar melintang atau balok diafragma

Komponen ini berfungsi mengikat gelagar induk agar menjadi satu kesatuan dan tidak adanya pergeseran antar gelagar induk. Balok ini menerima beban dari gelagar induk dan meneruskan ke rangka batang.

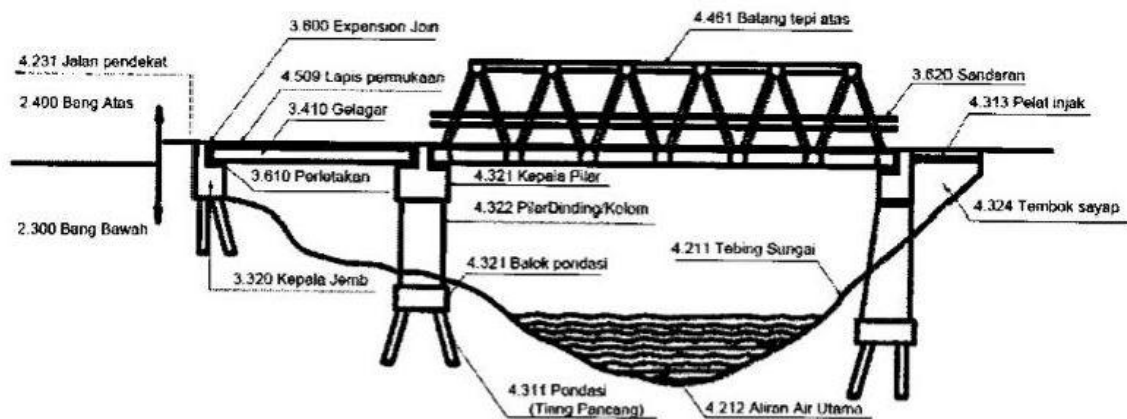
7. Ikatan angin atas

Ikatan angin mempunyai fungsi untuk menerima beban angin dan menyalurkan beban angin tersebut ke struktur induk rangka jembatan. Umumnya, beban angin bekerja di titik-titik simpul.

8. Rangka jembatan

b) Bangunan Bawah Jembatan

Bangunan bawah pada umumnya terletak disebelah bawah bangunan atas. Fungsinya menerima/memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkannya ke pondasi (Agus Iqbal Manu, 1995:5). Yang termasuk dalam bangunan bawah jembatan yaitu seperti: kepala jembatan (*abutment*), plat injak, pondasi, dinding sayap (*wing wall*), dan landasan/perletakan.



Gambar 2.6 Bagian-bagian konstruksi jembatan

Sumber: Chen dan Duan (2000).

2.3.2 Pembebanan Struktur Jembatan

Salah satu hal yang harus diperhitungkan dalam pembangunan suatu konstruksi jembatan ialah perhitungan beban pada jembatan. Karena pada hakikatnya jembatan yang dibangun harus mampu menahan beban yang ada. Pembebanan dalam struktur jembatan sudah diatur dan dijelaskan ke dalam RSNI T-02-2005. Beberapa macam beban yang diatur oleh RSNI T-02-2005, diantaranya:

1. Beban Mati.

Beban mati adalah beban yang berada pada posisi tetap dengan memiliki besar yang konstan setiap saat. Menurut Sumantri (1989), beban mati adalah semua muatan yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan tetap yang dianggap merupakan satu satuan dengan jembatan. Elemen struktural terdiri dari rangka, balok lengkung, plat lantai jembatan.

Tabel 2.2

Faktor Beban untuk Berat Sendiri

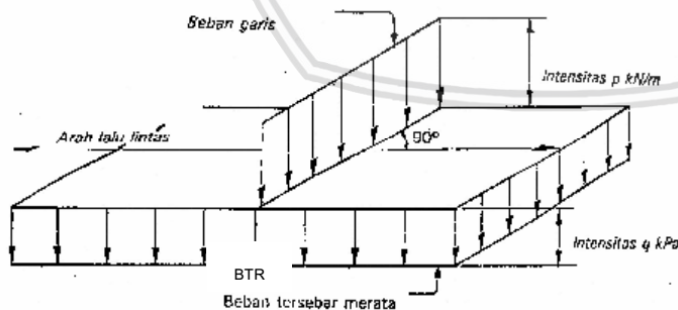
Jangka Waktu	Faktor Beban			
	K		K	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja, alumunium	1,0	1,1	0,9
	Baja pra cetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor di tempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

Sumber: RSNI T-02-2005 (2005).

2. Beban Hidup.

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan yang bergerak/lalu lintas dan atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Beban hidup dinyatakan ke dalam dua macam, yakni D dan T.

- Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan. Beban “D” didasarkan pada karakteristik jembatan yang memiliki lajur lalu lintas rencana dimana jumlah maksimum lajur lalu lintas untuk berbagai lebar lalu lintas telah ditentukan. Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT), seperti tampak pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.7 Intensitas beban lajur “D”.

Sumber: RSNI T-02-2005 (2005).

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L . Ketentuannya sebagai berikut:

$$a) \text{ Bila } L \leq 30 \text{ m}; q = 9 \text{ kPa} \quad (2.3)$$

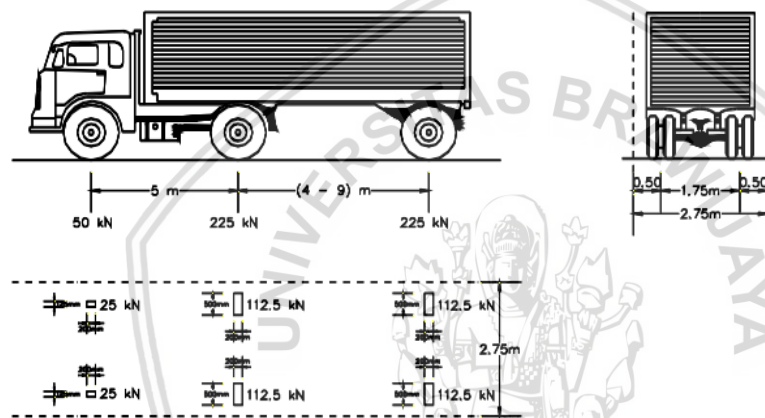
$$b) \text{ Bila } L > 30 \text{ m}; q = 9 (0,5 + (15/L)) \text{ kPa} \quad (2.4)$$

Dimana:

q adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan.

L adalah panjang total jembatan yang dibebani.

- b. Beban “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat.



Gambar 2.5 Beban lajur “D”.

Sumber: RSNI T-02-2005 (2005).

3. Beban Gempa.

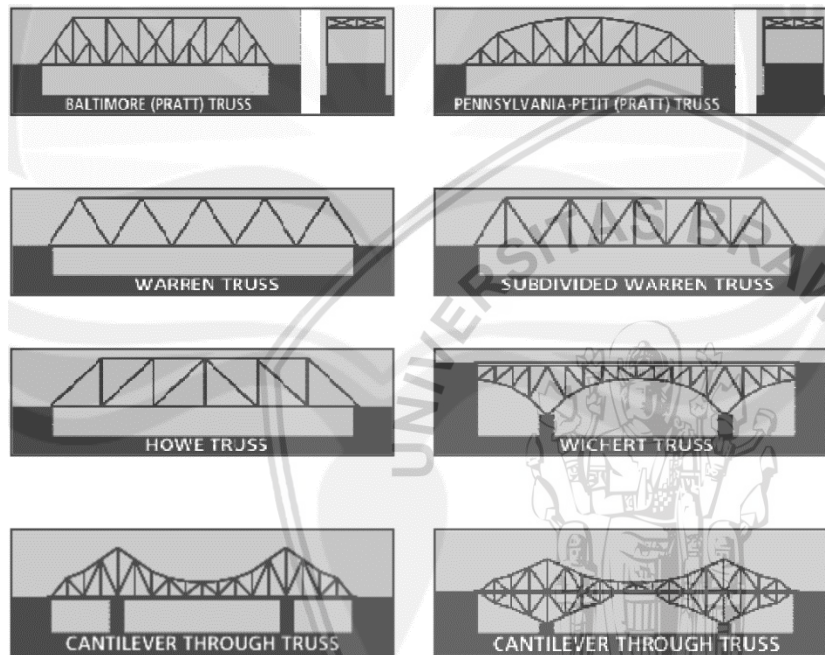
Beban gempa adalah beban percepatan tanah yang berupa suatu rekaman percepatan tanah untuk suatu gempa tertentu, sehingga untuk setiap waktu tertentu akan mempunyai harga percepatan tanah tertentu. Beban gempa merupakan pembebanan pada struktur jembatan yang sifatnya tak terduga atau sukar diprediksi.

2.3.3 Jembatan Rangka

Menurut (Asiyanto 2008) jembatan rangka baja adalah struktur jembatan yang terdiri dari rangkaian batang – batang baja yang dihubungkan satu dengan yang lain. Beban atau muatan yang dipikul oleh struktur ini akan diuraikan dan disalurkan kepada batang – batang baja struktur tersebut, sebagai gaya – gaya tekan dan tarik, melalui titik – titik pertemuan batang

(titik buhul). Garis netral tiap – tiap batang yang bertemu pada titik buhul harus saling berpotongan pada satu titik saja, untuk menghindari timbulnya momen sekunder.

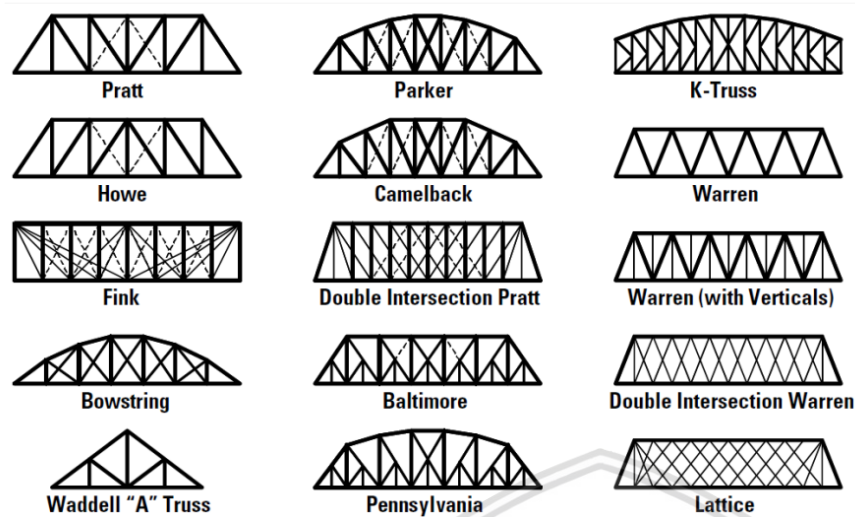
Menurut (Satyarno, 2003) jembatan rangka dibuat dari struktur rangka yang biasanya terbuat dari bahan baja dan dibuat dengan menyambung beberapa batang dengan las atau baut yang membentuk pola-pola segitiga. Jembatan rangka biasanya digunakan untuk bentang 20 m sampai 375 m. Ada banyak tipe jembatan rangka yang dapat digunakan diantaranya sebagai berikut, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Tipe jembatan rangka

Sumber: Satyarno (2003).

Berdasarkan susunan geometri rangka, terdapat 15 geometri yang telah umum digunakan. Dimana 15 geometri tersebut tersaji pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Geometri jembatan rangka yang telah umum

Sumber: Ressler (2001).

2.4 Gempa Bumi

2.4.1 Umum

Pada hakekatnya gempa bumi adalah getaran atau serentetan getaran dari kulit bumi yang bersifat tidak abadi/sementara dan kemudian menyebar ke segala arah (Howel, 1969). Gempa bumi juga merupakan hentakan besar yang terjadi sekaligus akibat penimbunan energy elastic atau strain dalam waktu yang lama secara kontinuitas akibat dari adanya proses pergerakan lempeng benua dan samudera. Sedangkan menurut Prof. Dr. Ir. Murni Dewi MS, gempa adalah getaran kerak bumi yang menimbulkan guncangan pada bangunan atau benda yang berada di atasnya. Getaran kerak bumi dapat terjadi akibat pergerakan lempeng bumi, akibat aktivitas gunung berapi dan akibat kelongsoran tanah.

2.4.2 Penyebab Gempa Bumi

Adapun beberapa sebab yang menimbulkan gempa bumi, yaitu:

1.) Runtuhan lubang – lubang interior bumi

Runtuhnya lubang – lubang interior seperti gua atau tambang batuan / mineral dalam bumi dapat menyebabkan getaran di atas permukaannya, namun getaran ini tidak terlalu besar dan terjadi hanya di setempat saja atau terjadi secara local.

2.) Tabrakan (impact)

Tabrakan benda langit atau sering disebut meteor juga dapat menyebabkan getaran, hanya saja getarannya tidak sampai terekam oleh alat pencatat getaran gempa bumi dan juga sangat jarang terjadi.

3.) Letusan dan ledakan gunung api

Aktivitas gunung api dapat menimbulkan gempa yang disebut gempa bumi vulkanik. Gempa bumi ini terjadi sebelum, selama, ataupun sesudah letusan gunung api. Penyebab gempa ini adalah adanya persentuhan antara magma dengan dinding gunung api dan tekanan gas pada letusan yang sangat kuat, atau perpindahan magma secara tiba – tiba dari dapur magma.

Kekuatan gempa vulkanik sebenarnya sangat lemah dan hanya terjadi di wilayah sekitar gunung api yang sedang aktif. Dari seluruh gempa bumi yang terjadi hanya 7% yang termasuk ke dalam gempa bumi vulkanik, walaupun demikian kerusakannya cukup luas juga, karena disertai dengan letusan gunung api.

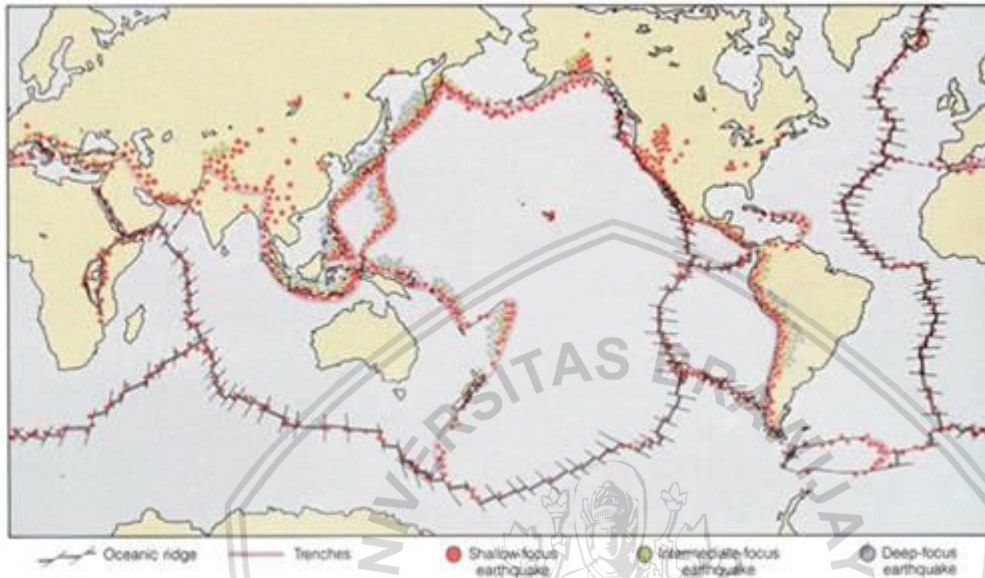
4.) Kegiatan Tektonik

Gempa bumi yang mempunyai efek sangat besar sebenarnya berasal dari kegiatan tektonik, yaitu mencakup 90% dari seluruh kejadian gempabumi. Gempa bumi ini berhubungan dengan kegiatan gaya-gaya tektonik yang tengah terus berlangsung dalam proses pembentukan gunung-gunung, terjadinya patahan-patahan batuan (*faults*) dan tarikan atau tekanan dari pergerakan lempeng-lempeng batuan penyusun kerak bumi.

Gempa bumi tektonik disebabkan oleh perlepasan tenaga yang terjadi karena pergeseran lempengan plat tektonik. Teori dari *tektonik plate* (plat tektonik) menjelaskan bahwa kulit bumi atau litosfer yang menutupi permukaan bumi keadaanya tidak utuh, melainkan terpecah-pecah berbentuk lempeng, yang satu sama lain bergerak saling menjauh, bertumbukan dan ada juga yang saling berpapasan. Lapisan tersebut bergerak perlahan sehingga berpecah-pecah dan bertabrakan satu sama lainnya. Gerakan litosfer tersebut diakibatkan oleh adanya gerakan astenosfer yang sifatnya cair kental. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya gempa tektonik.

Gempa bumi tektonik memang unik. Peta penyebarannya mengikuti pola dan aturan yang khusus dan menyempit, yakni mengikuti pola-pola pertemuan lempeng-

lempeng tektonik yang menyusun kerak bumi. Dalam ilmu kebumih (geologi), kerangka teoretis tektonik lempeng merupakan postulat untuk menjelaskan fenomena gempa bumi tektonik yang melanda hampir seluruh kawasan, yang berdekatan dengan batas pertemuan lempeng tektonik.



Gambar 2.10 Jalur penyebaran pusat gempa bumi di seluruh dunia

2.5 Analisa Nilai Eigen

Sebelum melakukan analisis dinamis perlu dilakukan analisa nilai eigen. Analisa nilai eigen menghasilkan bentuk ragam getaran bebas tanpa redaman dan frekuensi dari sistem. Dari ragam getaran tersebut bisa dilihat perilaku suatu struktur ketika mengalami gaya gempa. Kemudian setiap mode yang dominan dianalisis untuk mengetahui karakteristik dinamis yang utama pada struktur tersebut.

Persamaan gerak untuk keseimbangan dinamis:

$$[M] \ddot{u}(t) + [C] \dot{u}(t) + [K] u(t) = P(t) \quad (2.5)$$

Dimana $[M]$, $[C]$, $[K]$ berturut – turut adalah matriks yang lebih kompleks.

Nilai-nilai *Eigen* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$[K - \omega^2 M] \Phi = 0 \quad (2.6)$$

Analisa nilai eigen bertujuan untuk mengetahui nilai *damping ratio* untuk input analisis dinamis struktur. Untuk perhitungan koefisien α dan β yang akan dipakai pada analisis dinamis adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \xi \cdot 2 \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad \text{dan} \quad \beta = \xi \frac{2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (2.7)$$

Adapun beberapa parameter yang mempengaruhi respon dinamik struktur, antara lain:

a. Periode getar

Periode getar adalah waktu yang diperlukan struktur untuk melakukan satu siklus getaran harmonik sederhana dalam satu mode getarnya. Hubungan antara periode getar dan frekuensi alami ω_n dan frekuensi alami cyclic f_n adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.8)$$

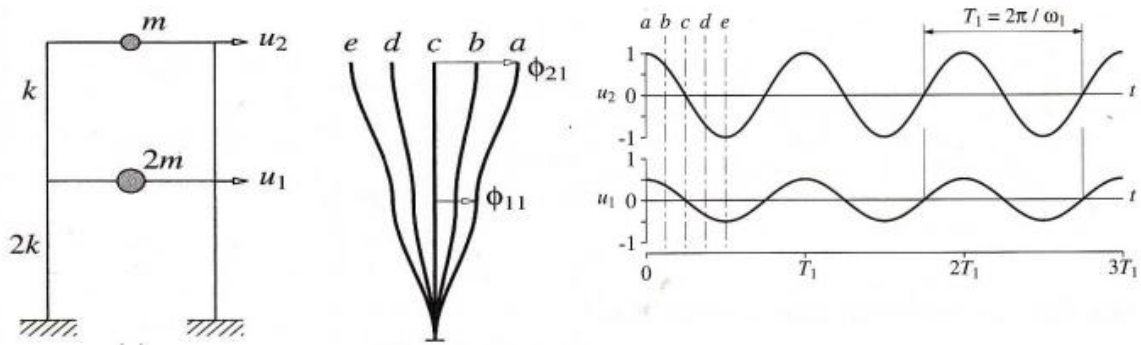
$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.9)$$

b. Mode getar

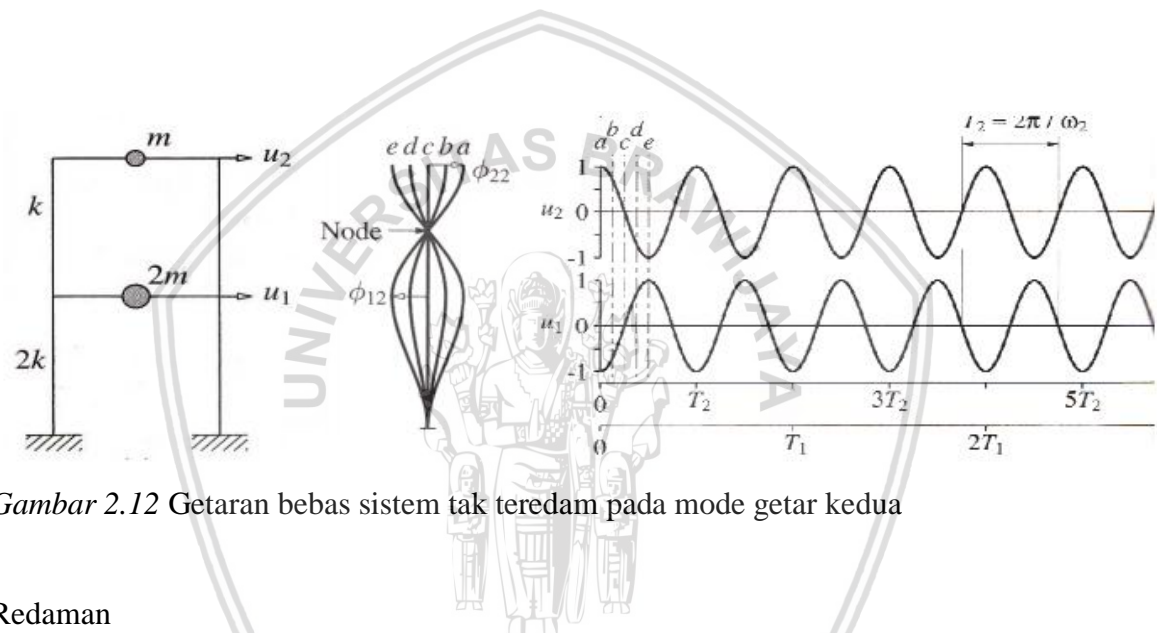
Bentuk dari perpindahan dari struktur tersebut bergetar ketika bergetar disebut dengan moda getar. Suatu struktur tak teredam akan mengalami gerakan harmonik sederhana tanpa perubahan defleksi, namun, jika getaran bebas dimulai dengan distribusi *displacement* yang cocok pada tiap DOF seperti pada **Gambar 2.11** dan **Gambar 2.12**, dua karakteristik bentuk defleksi muncul jika pada sistem dua DOF ini diberikan *displacement* pada tiap bentuk defleksi dan dilepaskan, system ini akan bergetar dengan gerakan harmoni sederhana, sambil mempertahankan bentuk defleksinya. Kedua lantai mencapai *displacement* ekstrimnya masing – masing pada waktu yang bersamaan dan melewati posisi kesetimbangan pada waktu yang bersamaan pula.

Dapat dilihat bahwa *displacement* pada setiap lantai berada pada arah yang sama pada karakteristik defleksi yang pertama dan berada pada arah yang berlawanan pada karakteristik defleksi yang kedua. Titik dimana *displacement* bernilai nol disebut nodal, seperti yang terlihat pada **Gambar 2.12**. Jika jumlah periode n semakin meningkat, jumlah nodal pun akan semakin banyak. Setiap karakteristik bentuk defleksi ini disebut mode getar natural dari sistem MDOF.

Setiap struktur hampir tidak mungkin hanya memiliki satu derajat kebebasan tetapi system memiliki banyak derajat kebebasan sehingga system akan banyak memiliki solusi yang mengindikasikan mode getar dari system. Getaran bebas akan muncul pada tiap mode dengan frekuensi tertentu dan mode getar tertentu pula.



Gambar 2.11 Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar pertama



Gambar 2.12 Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar kedua

c. Redaman

Menurut Chopra (1995), redaman merupakan proses dimana getaran bebas berkurang amplitudonya. Pada redaman, energi dari system yang bergetar terdisipasi melalui berbagai macam mekanisme. Newmark dan Hall (1982) menentukan rekomendasi nilai rasio redaman untuk beberapa tipe dan kondisi struktur.

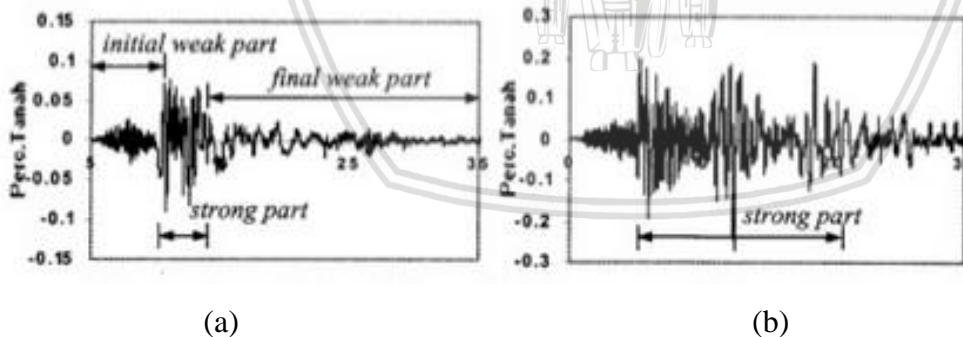
Tabel 2.3.

Typical Housner type and current Japanese damping values

		<i>Percent</i>
1.	Piping	0.5
2.	Welded steel	1.0
3.	Structural steel building frames	2.0
4.	Prestressed concrete	2.0
5.	Reinforced concrete	5.0

2.6 Analisis Dinamis

Analisis dinamis merupakan suatu metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban dinamis, yaitu beban yang arah dan besarnya berubah setiap waktu. Salah satu analisis dinamis yang biasa dilakukan adalah *time history analysis* (analisis riwayat waktu). *Time history analysis* sangat cocok digunakan untuk menganalisis struktur yang tidak beraturan terhadap pengaruh gempa rencana. Pada analisis ini struktur yang di desain diberi percepatan pada permukaan tanah sesuai rekaman percepatan terhadap waktu dari data *time history*. Kemudian percepatan ini dapat diamati respon strukturnya. Gambar 2.7 merupakan contoh rekaman gempa.



Gambar 2.13 Rekaman gempa (a) Taiwan 1999, (b)

Sumber: El Centro (1979).

Secara lengkap analisis dinamis memberikan gambaran yang lebih jelas tentang pengaruh gempa pada struktur. Perilaku selama terjadi gempa dapat diketahui dengan menyelesaikan persamaan gerak. Analisis ini dapat dimasukkan interaksi antar kabel, dek, dan menara. Karena besarnya derajat kebebasan struktur, analisi dinamis memerlukan alat bantu

berupa program computer yang mampu menghitung analisis struktur baik secara linier maupun non-linier.

2.5 Software ABAQUS Student Edition.

Software ABAQUS Student Edition merupakan penyedia program yang dapat memodelkan benda yang akan dianalisis dalam bentuk CAE. Program tersebut berfungsi sebagai desain model yang kekuatan dari materialnya dapat dimasukkan dari data-data material yang ada. Seperti berbagai program komputer yang ada di pasaran, *software ABAQUS Student Edition* memiliki CAD / CAM/ CAE yang berfungsi sebagai program untuk analisis elastis dan plastis. Keunggulan ABAQUS dibandingkan dengan program lainnya yang sejenis adalah menu yang ada pada ABAQUS lengkap pada *part modul*nya. Selain itu, kita juga bisa melakukan pengujian terhadap material dengan memasukkan data material secara manual di dalam *input file*. Pengembangan bahasa program dalam ABAQUS membuat para desainer lebih mudah dalam menentukan metode yang digunakan untuk melakukan proses simulasi dan analisis (ABAQUS CAE *User manual*, 2003).

Kemungkinan terjadi kegagalan dan kesalahan selama proses *running* dari *input file* yang sudah dimasukkan biasanya disebabkan karena kesalahan dalam meng-*input* data pada *module ABAQUS Student Edition*. Analisis *ABAQUS Student Edition* secara lengkap terdiri dari tiga tahap, yaitu: *preprocessing*, simulasi, dan *postprocessing*.

1. Proses Awal (*Preprocessing*).

Bagian ini merupakan langkah awal untuk menentukan model yang akan dilakukan analisis. Pemodelan *part* dilakukan dalam *software ABAQUS* dengan memasukkan geometri yang telah kita ketahui sebelumnya. Dalam menggambarkan model, dapat menggunakan koordinat sistem yang akan dibuat. Sebelum dilakukan simulasi, terlebih dahulu harus memeriksa semua *keyword* dan parameter yang digunakan agar tidak terjadi kesalahan. Selain itu, urutan dalam memasukkan data harus diperhatikan dengan benar serta tidak lupa memastikan satuan yang digunakan dalam *input data*.

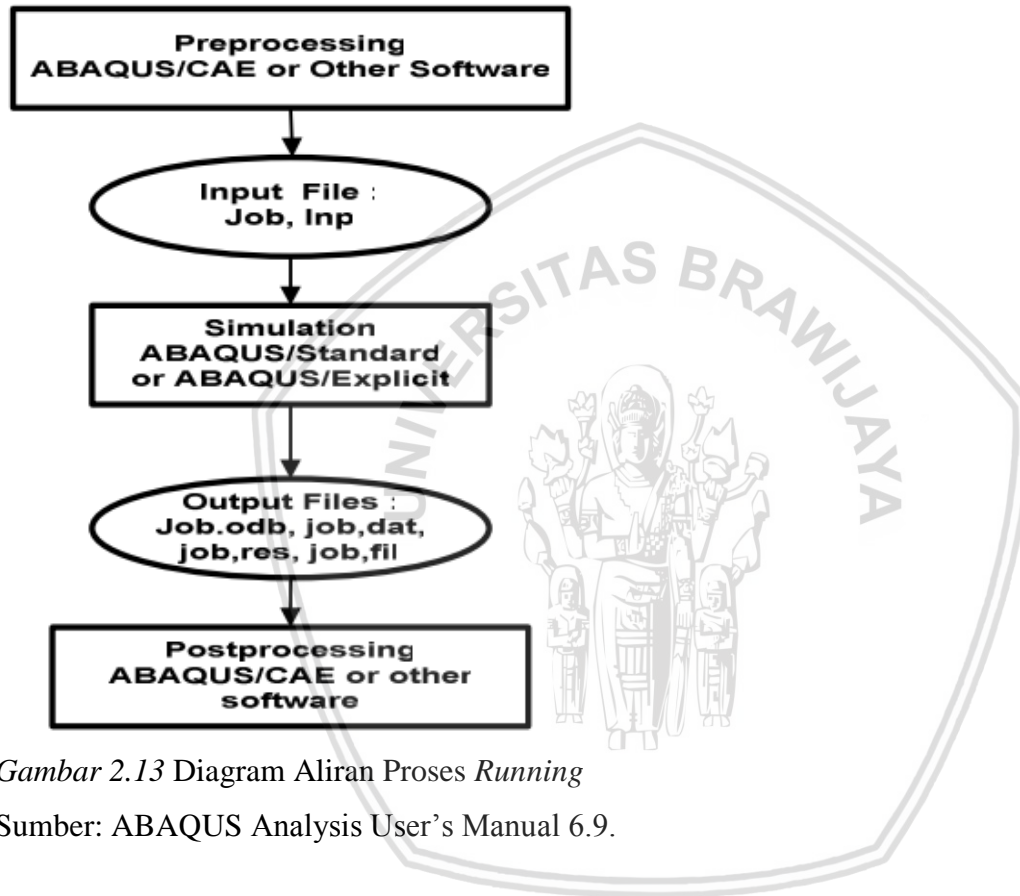
2. Simulasi (*Simulation*).

Simulasi yang biasanya dijalankan sebagai pengantar proses merupakan tahap dimana program *ABAQUS* memulai proses untuk melakukan pemecahan masalah numerik yang diidentifikasi dalam model.

3. Proses Akhir (*Postprocessing*)

Pada proses ini dapat diambil kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah selesai berupa perpindahan, gaya atau variable lainnya yang sudah dilakukan perhitungan. Hasil akhir biasanya dibuat dalam suatu laporan atau sebuah catatan.

Apabila dibentuk menjadi sebuah diagram alir, maka analisis dalam ABAQUS sebagai berikut:



Gambar 2.13 Diagram Aliran Proses *Running*

Sumber: ABAQUS Analysis User's Manual 6.9.

Dengan mengikuti alur diagram di atas suatu permasalahan dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Sebagai suatu program untuk desain dan analisis numerik, ABAQUS dapat bekerja pada daerah elastis dan plastis dengan hasil tampilan sebuah grafik yang berupa diagram *linier-non linier* lengkap.

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara keseluruhan menggunakan *software ABAQUS Student Edition* untuk analisis distribusi tegangan pada jembatan *K-Truss* akibat beban sendiri dan beban gempa dua arah dan tiga arah. Analisis dilakukan untuk mengetahui bagaimana kapasitas maksimum jembatan terhadap beban gempa yang diberikan dengan menggunakan analisis dinamis metode *time history*.

3.1 Data Jembatan

3.1.1 Data Umum Jembatan

Data umum jembatan yang menjadi objek dalam analisis :

Nama struktur model : Jembatan K.H. Ahmad Fattah

Lokasi : Malang

Fungsi : Jalan Raya

3.1.2 Data Teknis Jembatan

Jembatan rangka yang menjadi fokus penelitian ini adalah:

Tipe : Jembatan Rangka Batang

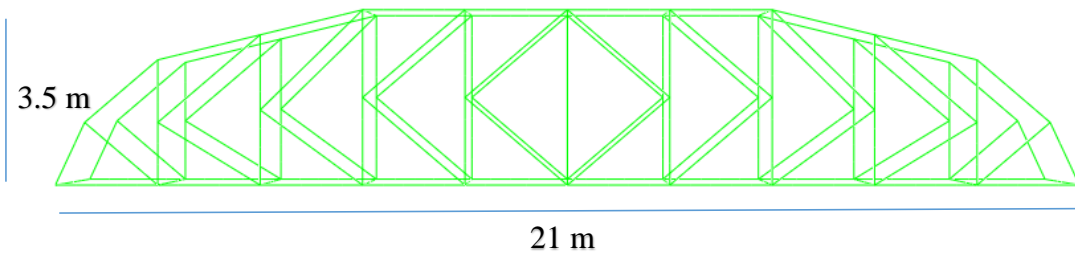
Panjang bentang : 21 meter

Lebar : 3 m

Material : Baja

Tumpuan : Sendi - Rol

Detail gambar perencanaan jembatan dilakukan melalui proses pendekatan yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan.



Gambar 3.1 Layout jembatan pada software ABAQUS

Tabel 3.1

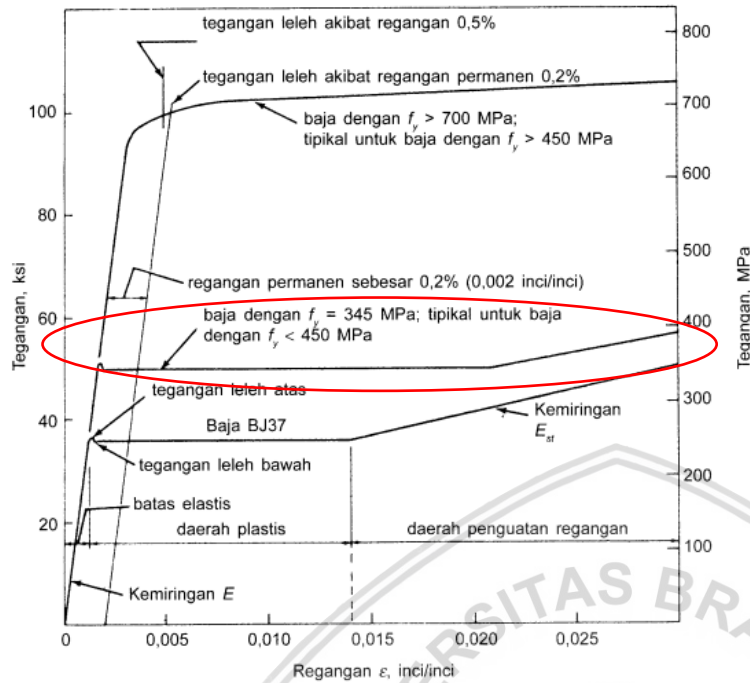
Dimensi profil baja model

Bagian struktur	Jenis profil
Rangka utama atas	WF 250.250.9.14
Gelagar melintang	WF 350.175.7.11

Analisis dilakukan dengan menggunakan mutu baja dan modulus elastisitas yang seragam. Mutu baja disesuaikan dengan mutu yang umum digunakan di pasaran, yakni BJ-41. Sifat – sifat mekanik lainnya dari mutu BJ-41 disesuaikan dengan SNI 03-1729-2002.

$$E = 200.000 \text{ MPa}$$

Hubungan tegangan – regangan digambarkan pada **gambar 2.1**, kemudian diambil 10 titik yang terhitung setelah baja mengalami leleh sebagai nilai dari tegangan dan regangan yang akan dimasukkan ke dalam *software ABAQUS Student Edition*.



Gambar 3.2 Hubungan tegangan-regangan tipikal

Sumber: Salmon & Johnson, Srel Structures Design and Behaiuor, 4'r' ed

Tabel 3.2 merupakan data dari 10 titik yang akan dimasukkan ke dalam ABAQUS:

Tabel 3.2

Input Data *True Strain and True Stress*

Regangan	Tegangan	True strain	True stress
0,0019	342	0	342
0,005	342	0,0031	343,0602
0,01	342	0,0081	344,7702
0,015	342	0,0130	346,4802
0,02	342	0,0179	348,1902
0,0206	342	0,0185	348,3954
0,0228	358,3	0,0207	365,7885
0,025	362,5	0,0228	370,8738
0,0275	375	0,0253	384,6000
0,03	391,7	0,0277	402,7068

3.2 Analisa Nilai Eigen

Analisa nilai eigen dilakukan untuk mengetahui nilai *damping ratio* (α dan β) untuk input analisis dinamis struktur. Dalam analisis ini, jembatan terlebih dahulu dibagi menjadi 10 bagian. Kemudian dilakukan analisa nilai eigen sehingga mendapatkan dua nilai *mode shape* terbesar. Setelah itu diperlukan perhitungan frekuensi alami untuk mengetahui karakteristik dinamis yang utama pada struktur tersebut. Lantas terlihat bagaimana perilaku dominan struktur jembatan rangka yang dimodelkan. Kemudian melakukan perhitungan koefisien α dan β dengan menggunakan rumus sebagai berikut ini:

$$\alpha = \xi \cdot 2 \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2}, \quad (3.1)$$

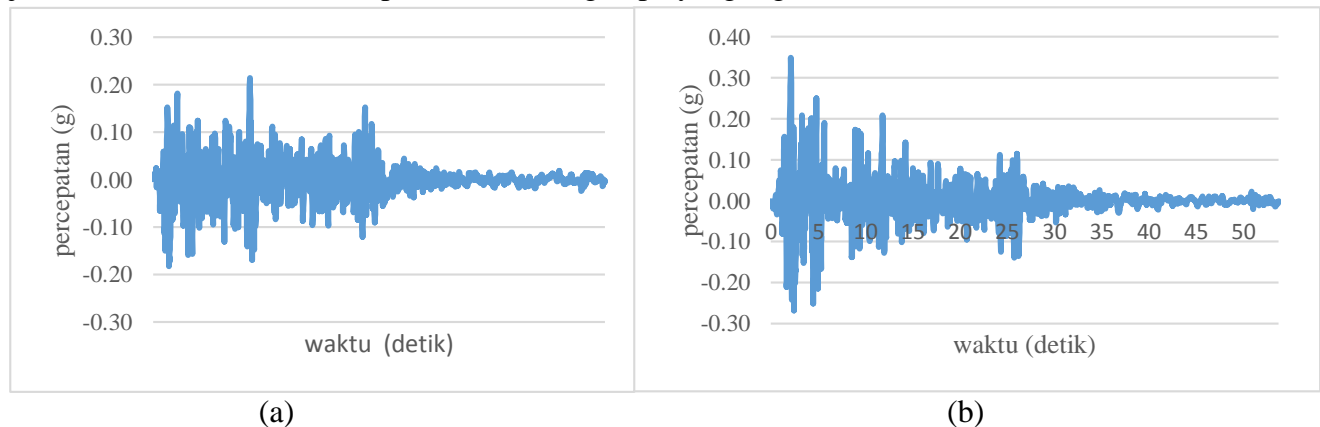
$$\text{dan } \beta = \xi \frac{2}{\omega_1 + \omega_2}, \quad (3.2)$$

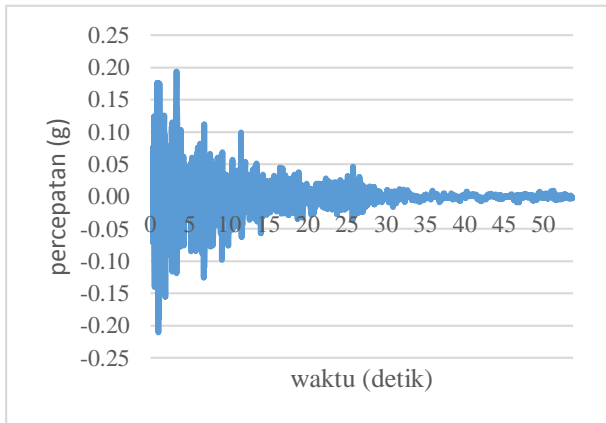
dimana untuk frame baja digunakan $\xi = 2\%$

Selanjutnya dapat dilakukan analisis dinamis jembatan rangka *K-Truss* dengan menggunakan metode *time history*.

3.3 Analisis dinamis

Analisis dinamis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *time history analysis* (analisis riwayat waktu) dengan menggunakan *software* SAP2000 v.18. Analisis dan modelisasi struktur dilakukan secara dua dan tiga dimensi pada Jembatan K.H. Ahmad Fattah.. Gempa yang digunakan adalah data riwayat waktu gempa El Centro, California.. Beban gempa akan diperbesar hingga 10x percepatan untuk mengetahui tegangan dan regangan maksimum jembatan. **Gambar 3.1** merupakan rekaman gempa yang digunakan dalam analisis ini.





(c)

Gambar 3.3 Data gempa El Centro, California (a) Gempa arah earth-west, (b) Gempa arah north-south, (c) Gempa arah up-down

3.4 Metode Penelitian

Langkah-langkah penelitian kali ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

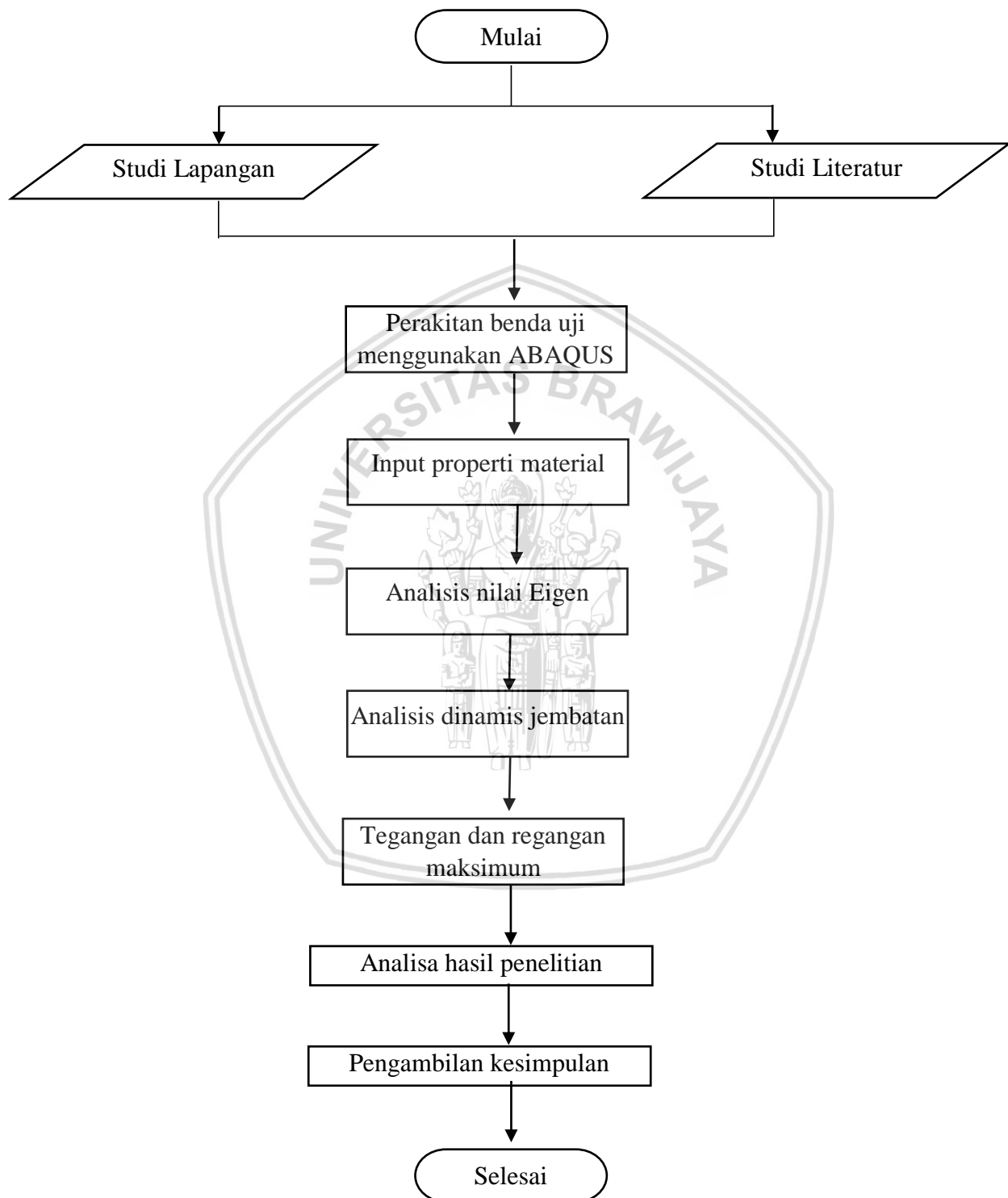
- 1.) Menentukan topik yang akan digunakan untuk penelitian.
- 2.) Studi lapangan dan literatur.

Penulis melakukan studi lapangan dan literatur sebagai dasar teori untuk menganalisis permasalahan. Selain itu, studi lapangan juga digunakan sebagai pemodelan struktur jembatan yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut pada software Abaqus.

- 3.) Melakukan perakitan model jembatan rangka ke dalam software Abaqus.
- 4.) Memasukkan input data property material ke dalam software Abaqus.
- 5.) Melakukan analisis nilai eigen
- 6.) Melakukan analisis dinamis jembatan sehingga didapatkan nilai tegangan dan regangan maksimum.
- 7.) Melakukan analisa penelitian.
- 8.) Menyimpulkan hasil analisa penelitian
- 9.) Selesai

Meliputi hal utama yang bisa diambil setelah dilakukannya penelitian.

Diagram alir penelitian yang menjelaskan tentang prosedur dan tahapan penelitian disajikan pada **Gambar 3.4**.



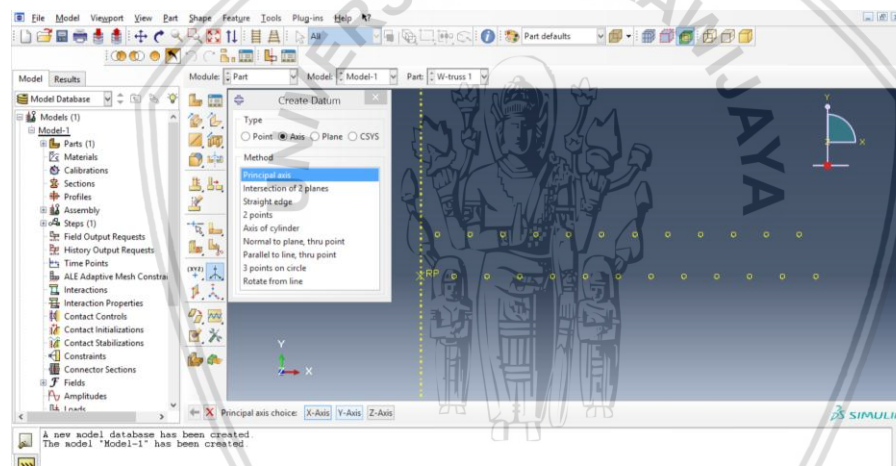
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

3.5 Pemodelan dengan *software* ABAQUS Student Edition.

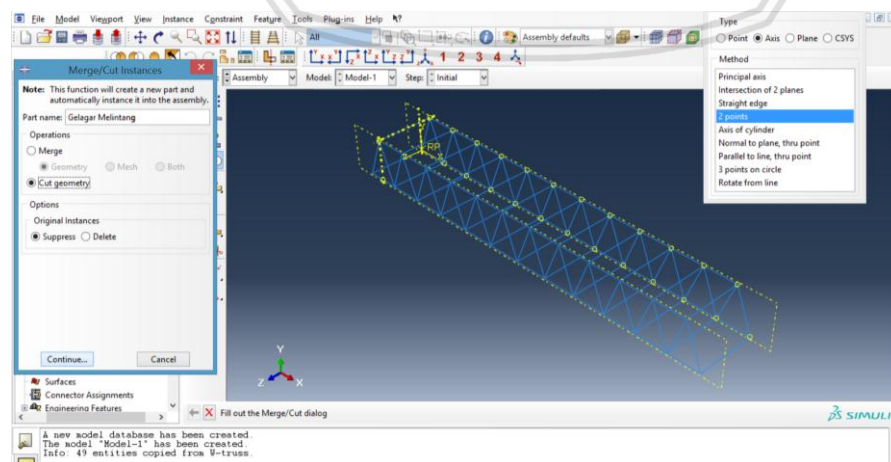
Berikut ini adalah cara-cara dalam menggambarkan model benda uji berupa jembatan rangka baja dengan menggunakan *software* ABAQUS Student Edition. Langkah-langkah pemodelan dengan ABAQUS Student Edition adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan Benda Uji (*Create Part*).

Langkah pertama sebelum memodelkan benda uji ke dalam ABAQUS Student Edition, terlebih dahulu menentukan sistem satuan yang akan digunakan. Hal ini dilakukan karena dalam memasukkan data pada ABAQUS Student Edition diperlukan satuan yang konsisten dan spesifik. Setelah sistem satuan ditentukan, barulah benda uji dimodelkan dengan membuat koordinat-koordinat. Kemudian setelah koordinat-koordinat tersebut terbentuk, digabungkan hingga terbentuk jembatan rangka yang akan digunakan dalam penelitian (*W-Truss*).



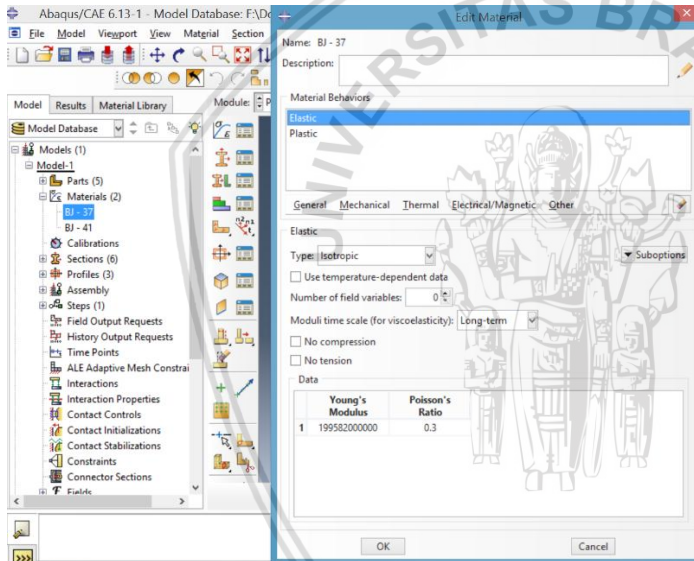
Gambar 3.5 Hasil *input* koordinat-koordinat setiap titik pada jembatan *K-Truss*.



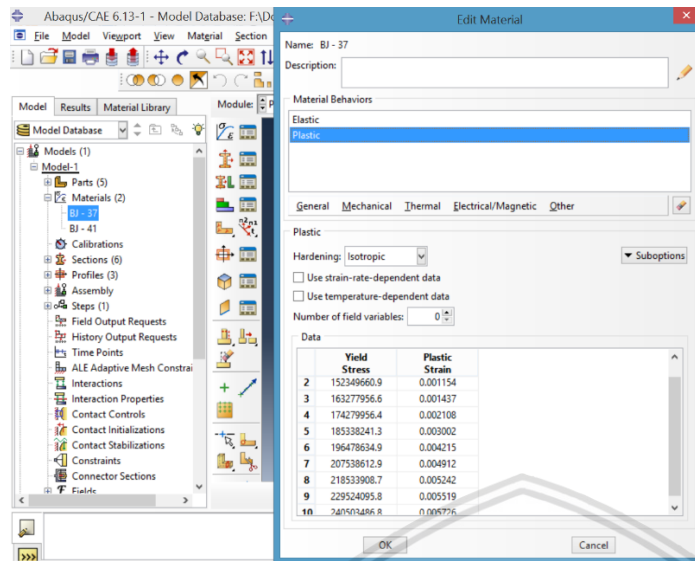
Gambar 3.6 Penggabungan koordinat-koordinat membentuk jembatan *K-Truss*.

2. Memasukkan Data (*Input Property*).

Langkah berikut ini jembatan rangka yang telah terbentuk dimasukkan data berupa material, profil dan *section assignment*. Pada bagian material, dimasukkan mutu baja yang digunakan beserta nilai tegangan-regangan yang sesuai dengan mutu baja tersebut. Setelah itu memasukkan (*input*) nilai modulus elastisitas dan *poisson rasio*. Sedangkan, pada bagian profil dimasukkan dimensi profil baja yang digunakan. Kemudian *create section*, disesuaikan dengan mutu baja dan profil yang digunakan pada tiap-tiap elemen jembatan rangka. Selanjutnya *section* yang telah dibuat tersebut, dimasukkan (*input*) pada tiap-tiap bagian jembatan rangka yang sebelumnya telah dibuat pada *section* pada menu *model tree*.

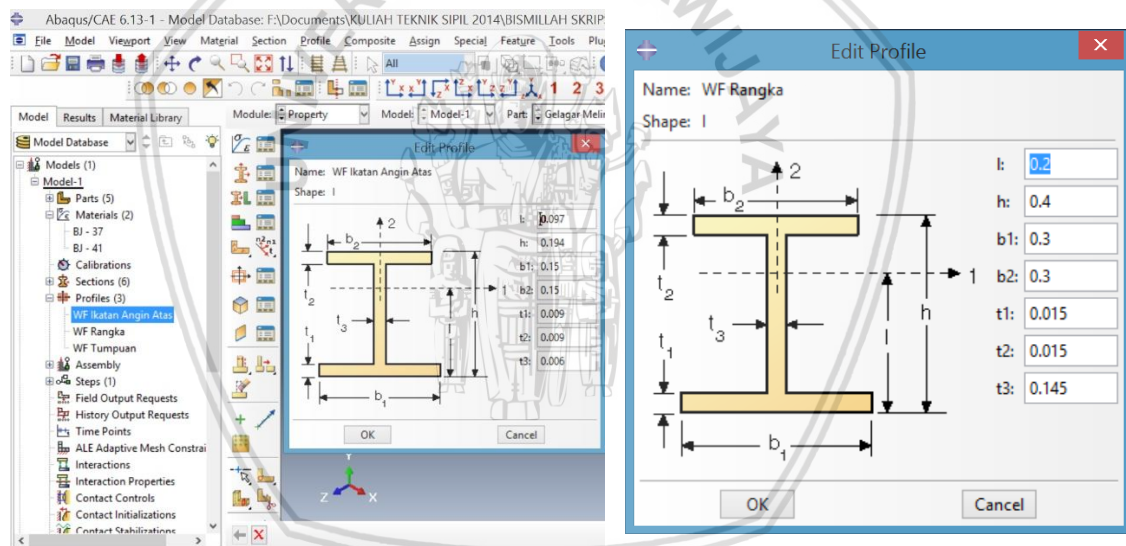


(a)



(b)

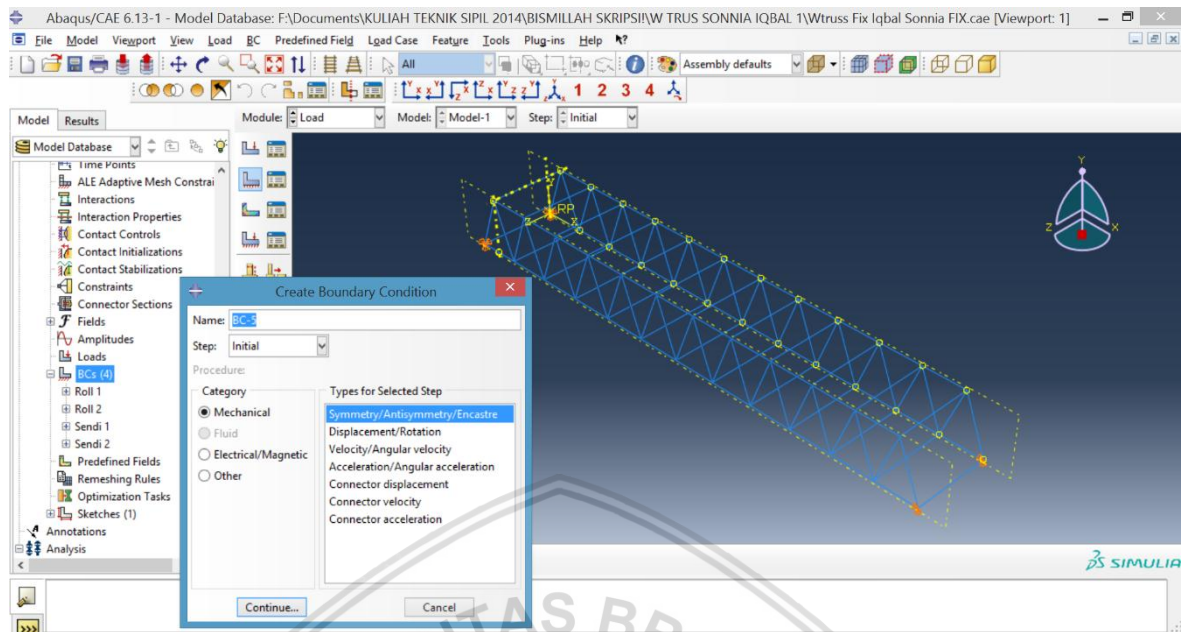
Gambar 3.7 Input mutu material baja yang digunakan.



Gambar 3.8 Input dimensi profil baja yang digunakan.

3. Input Tumpuan (Boundary Condition).

Pada langkah ini ditentukan tumpuan yang digunakan untuk menganalisis benda uji. Total boundary condition yang digunakan berjumlah 4 yaitu 2 sendi dan 2 roll. Sendi menggunakan symmetry/antisymmetry/encastre dan roll menggunakan displacement rotation.



Gambar 3.9 Perintah input boundary condition.

4. *Assembly.*

Langkah *assembly* merupakan modul untuk menggabungkan part-part menjadi satu bentuk atau model.

5. *Meshing.*

Pada langkah ini rangka yang telah dibuat kemudian dibagi menjadi beberapa *node* dan elemen. Jumlah *mesh* yang diberikan pada benda uji ditentukan sesuai dengan hasil yang ingin didapatkan.

6. Analisis Nilai Eigen.

Selanjutnya, pada analisis eigen akan didapatkan frekuensi natural (f) yang merupakan bahan untuk mencari nilai α (α) dan β (β). Setelah didapatkan α (α) dan β (β), kemudian α (α) dan β (β) tersebut dianalisis dengan data *time history* yang telah didapatkan sehingga menghasilkan beban gempa yang kemudian akan diinput di dalam ABAQUS Student Edition.

7. Memasukkan Beban Berat Struktur dan Beban Gempa pada ABAQUS Student Edition.

8. Menentukan Output.

Pada tahap ini hasil yang diinginkan ditentukan sendiri. Dalam penelitian ini output yang ingin ditampilkan berupa tegangan, regangan, reaksi tumpuan dan perpindahan.

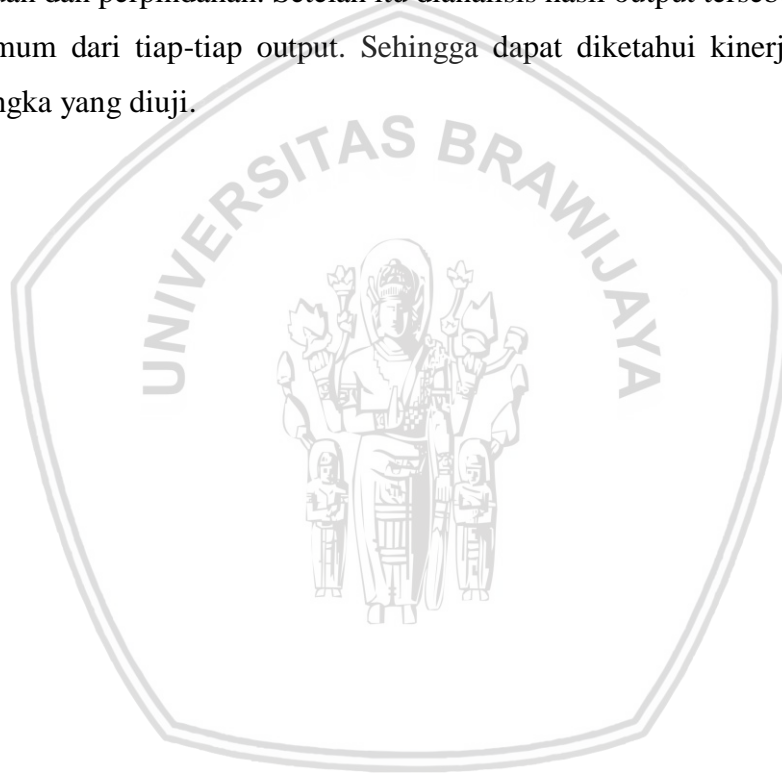
9. *Running.*

Setelah menentukan *output* yang ingin ditampilkan, langkah selanjutnya adalah menjalankan atau memproses hingga output yang dikeluarkan sudah sesuai.

10. *Menganalisa Output.*

3.1 Analisis Hasil Penelitian

Setelah didapatkan output yang diinginkan dari abaqus, langkah selanjutnya adalah menganalisa hasil penelitian tersebut. Output yang didapatkan yaitu tegangan, regangan, reaksi tumpuan dan perpindahan. Setelah itu dianalisis hasil output tersebut dan didapatkan hasil maksimum dari tiap-tiap output. Sehingga dapat diketahui kinerja model struktur jembatan rangka yang diuji.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

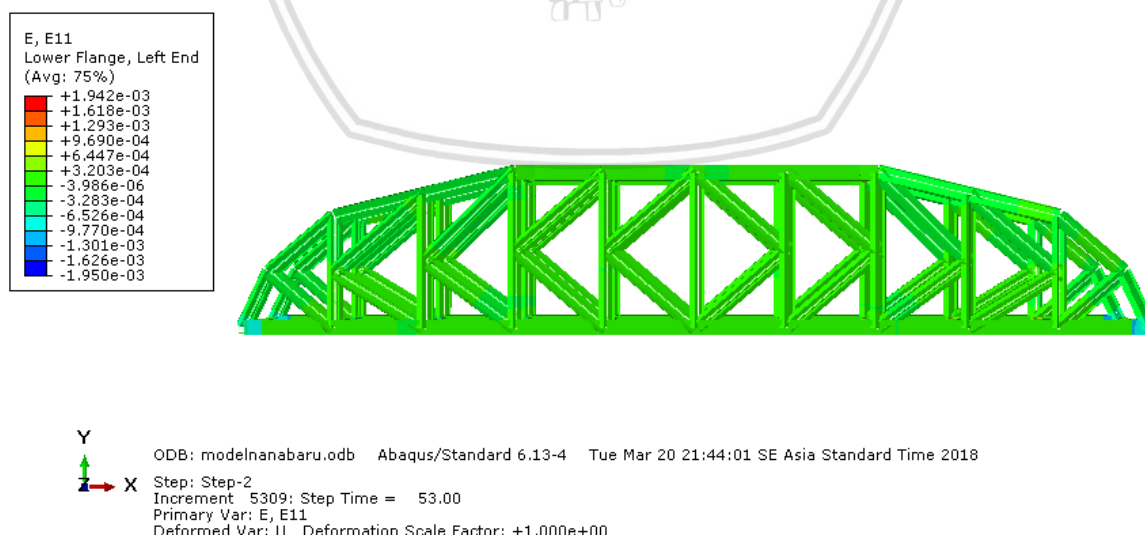
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah

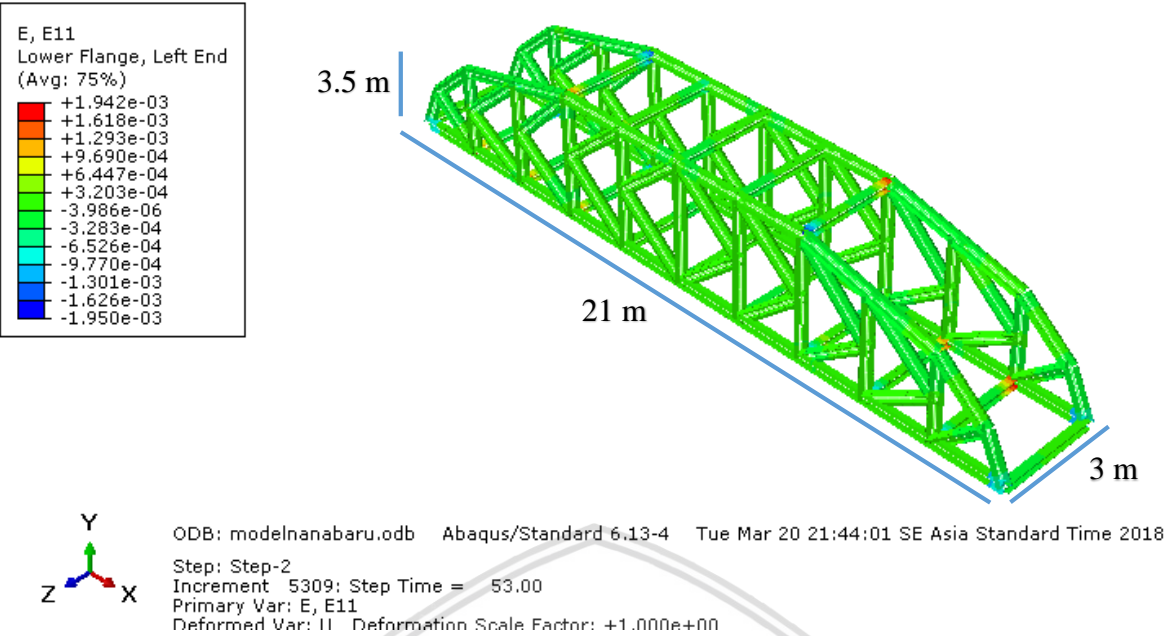
Analisis yang dilakukan dalam penelitian menggunakan model struktur Jembatan K.H. Ahmad Fattah di Malang. Jembatan ini merupakan jembatan rangka dengan tipe K-Truss. Peneliti melakukan pemodelan terhadap dimensi maupun material struktur dengan melakukan pendekatan terhadap keadaan di lapangan. Pemodelan jembatan dilakukan menggunakan program ABAQUS *Student Edition*.

4.1.1 Gambaran Umum

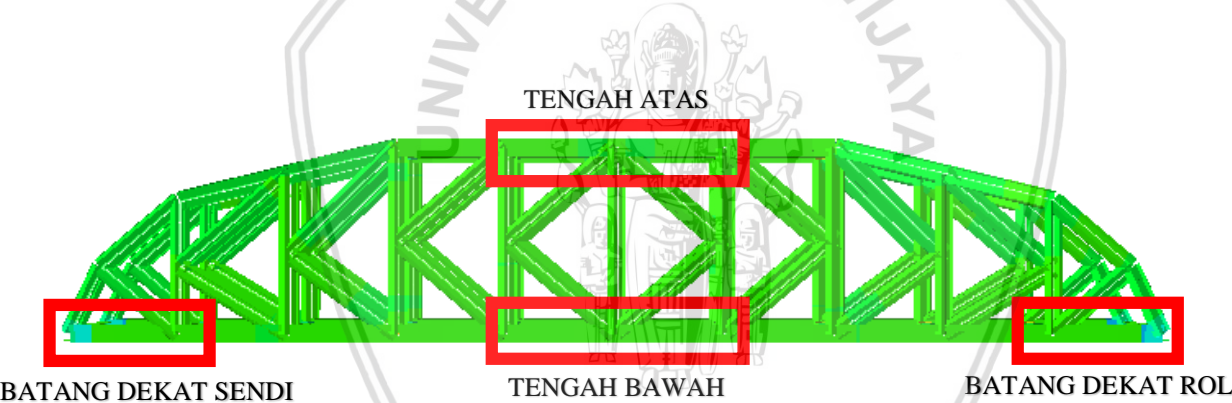
Jembatan yang digunakan memiliki bentang sepanjang 21 meter dengan memiliki lebar 3 meter dan tinggi 3,5 meter. Penelitian ini hanya difokuskan pada struktur rangka jembatan saja dengan tumpuan sendi-roll. Jembatan terbagi menjadi 4 bagian, yakni batang dekat dengan tumpuan sendi dan rol, dan batang segmen tengah atas dan bawah yang disajikan pada **Gambar 4.3**, dan **Gambar 4.4**.. Berikut merupakan layout Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah:



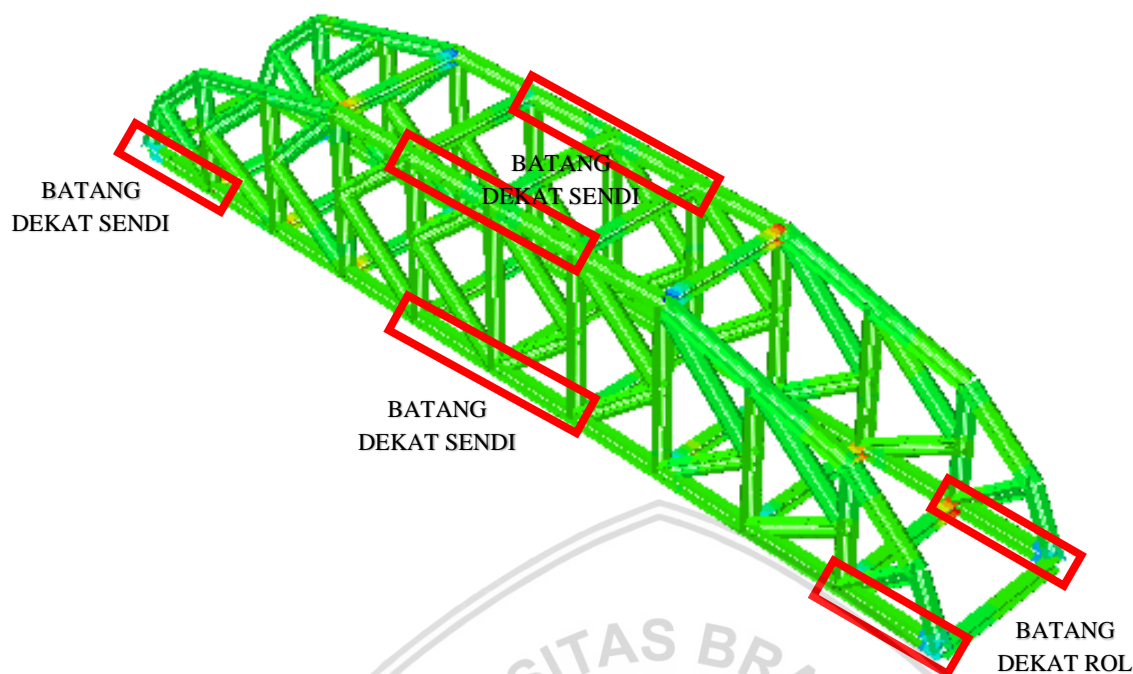
Gambar 4.1 Layout Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah tampak 2 dimensi



Gambar 4.2 Layout Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah tampak 3 dimensi



Gambar 4.3 Tampak samping bagian – bagian jembatan yang ditinjau



Gambar 4.4 Tampak atas bagian – bagian jembatan yang ditinjau

4.1.2 Spesifikasi Material

Jenis material yang digunakan pada struktur adalah baja dengan mutu BJ-41. Rangka utama struktur menggunakan baja dengan jenis profil WF.250.250.9.14 sedangkan pada gelagar melintang menggunakan baja dengan WF 350.175.7.11.

4.2 Hasil Simulasi Numerik Jembatan Rangka K-Truss K.H. Ahmad Fattah

Penelitian ini dimodelkan menggunakan *software ABAQUS Student Edition*. Jika dibandingkan dengan *software - software* lain, *software* ini dapat menghasilkan output data yang lebih detail. Masing - masing batang pada jembatan dibagi menjadi 5 elemen. Analisis numerik dilakukan untuk mendapatkan nilai *damping ratio* sebagai *input* analisis dinamis. Setelah memodelkan jembatan pada *software ABAQUS Student Edition*, didapatkan nilai rasio massa efektif yang kemudian dianalisis sehingga dapat mengetahui karakteristik dinamis yang terjadi pada struktur jembatan. Mode shape dominan didapatkan apabila rasio massa efektif telah mencapai nilai 90-100%. Mode shape dominan pada jembatan K-Truss dihasilkan pada mode shape ke-1, 5, dan 6. Rasio massa efektif maksimum pada sumbu X, Y, dan Z akan berpengaruh terhadap posisi dari periode alami struktur.

Hasil perhitungan analisis nilai eigen disajikan pada **Tabel 4.1**. Berdasarkan tabel dibawah ini menggambarkan frekuensi alami, periode alami dan rasio massa efektif pada setiap mode yang dominan. Selain itu, dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa perilaku

dominan struktur jembatan rangka yang dimodelkan pada mode pertama terjadi pada arah Z, seperti terlihat pada **Gambar 4.5**. Sedangkan mode 5 dan 6 terjadi pada arah X dan Y, yang secara jelas dapat dilihat pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7**.

Tabel 4.1

Hasil Analisis Eigen pada Struktur Jembatan Rangka

Mode	Frekuensi		T (sec)	Rasio Massa Efektif (%)		
	f (Hz)	$\omega = 2\pi f$ (rad/sec)		X	Y	Z
1	0,442	2,776	2,264	0,00	0,00	89,94
2	1,396	8,771	0,716	0,00	0,00	5,12
3	2,419	15,198	0,413	0,00	0,00	2,31
4	2,853	17,927	0,350	0,00	0,00	0,00
5	3,328	20,909	0,301	47,24	49,31	0,00
6	3,373	21,192	0,296	52,76	50,69	0,00
7	3,628	22,796	0,276	0,00	0,00	1,91
8	4,042	25,397	0,247	0,00	0,00	0,02
9	4,981	31,299	0,201	0,00	0,00	0,56
10	5,281	33,180	0,189	0,00	0,00	0,13

Untuk perhitungan koefisien α dan β yang akan dipakai pada analisis dinamis adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \xi \cdot 2 \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad \text{dan} \quad \beta = \xi \frac{2}{\omega_1 + \omega_2}, \quad \text{dimana untuk frame baja digunakan}$$

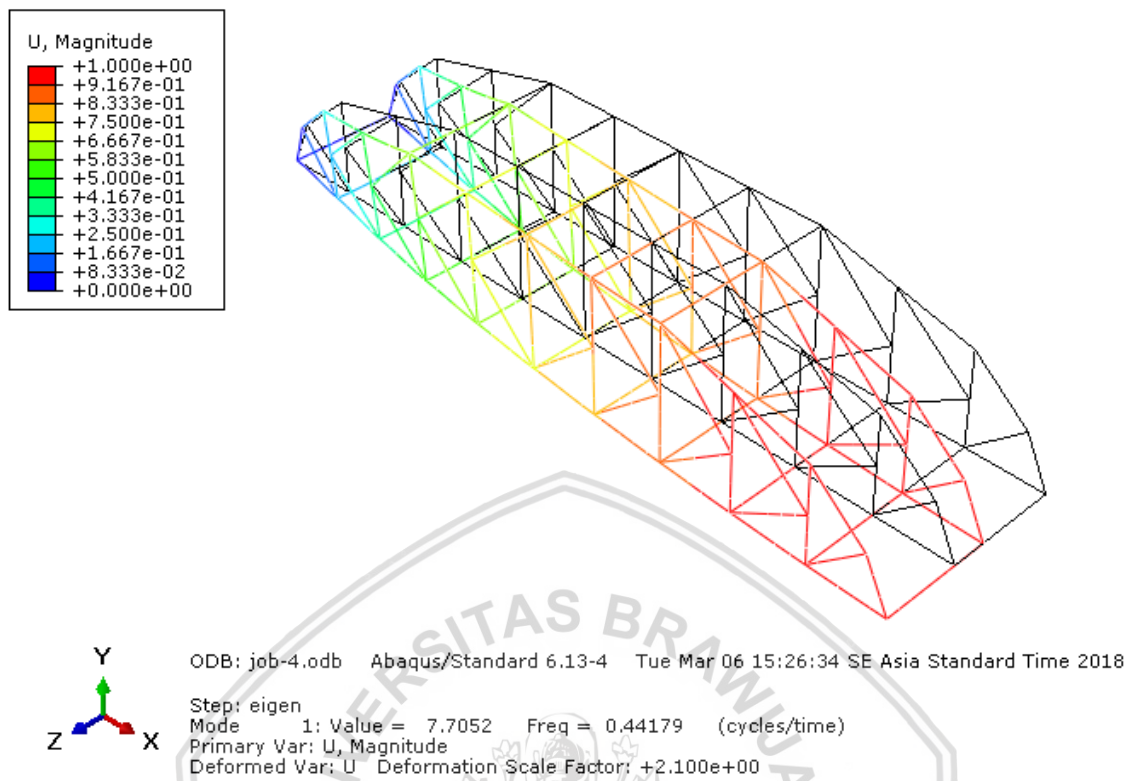
$$\xi = 2\%$$

Sehingga:

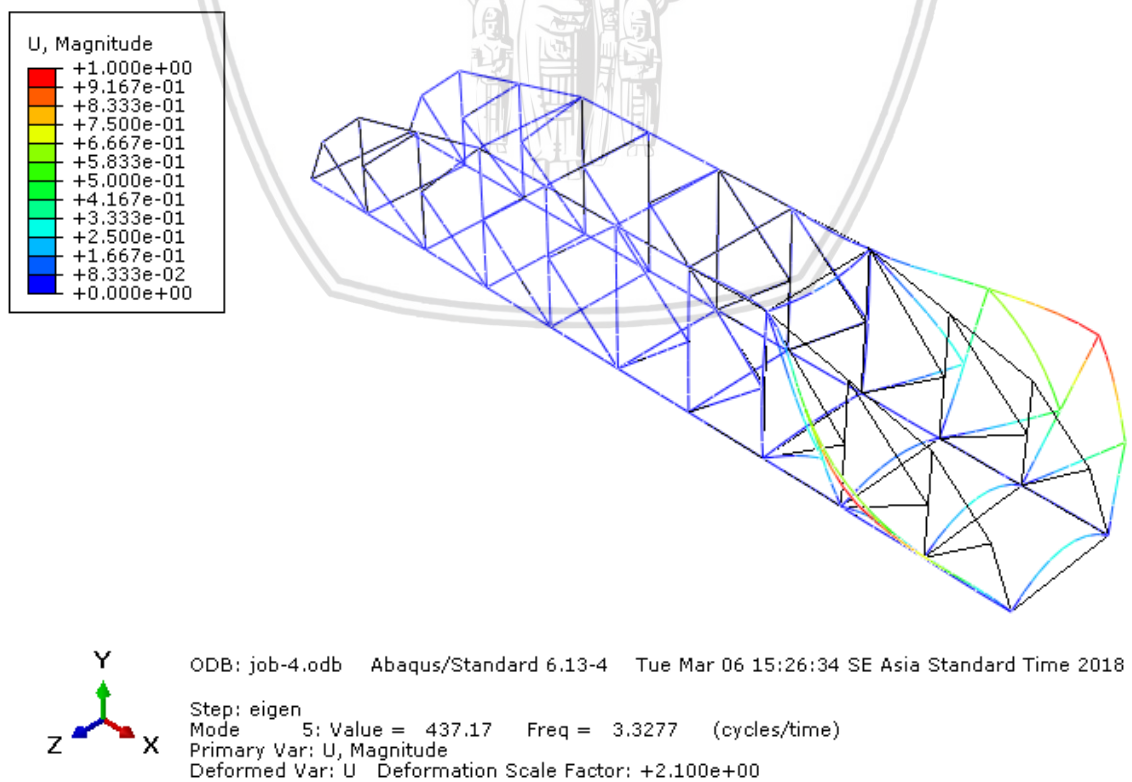
$$\alpha = 0.02 \times 2 \times \frac{2.776 \times 21.192}{2.776 + 21.192} = 0.0982$$

$$\beta = 0.02 \times \frac{2}{2.776 + 21.192} = 0.0017$$

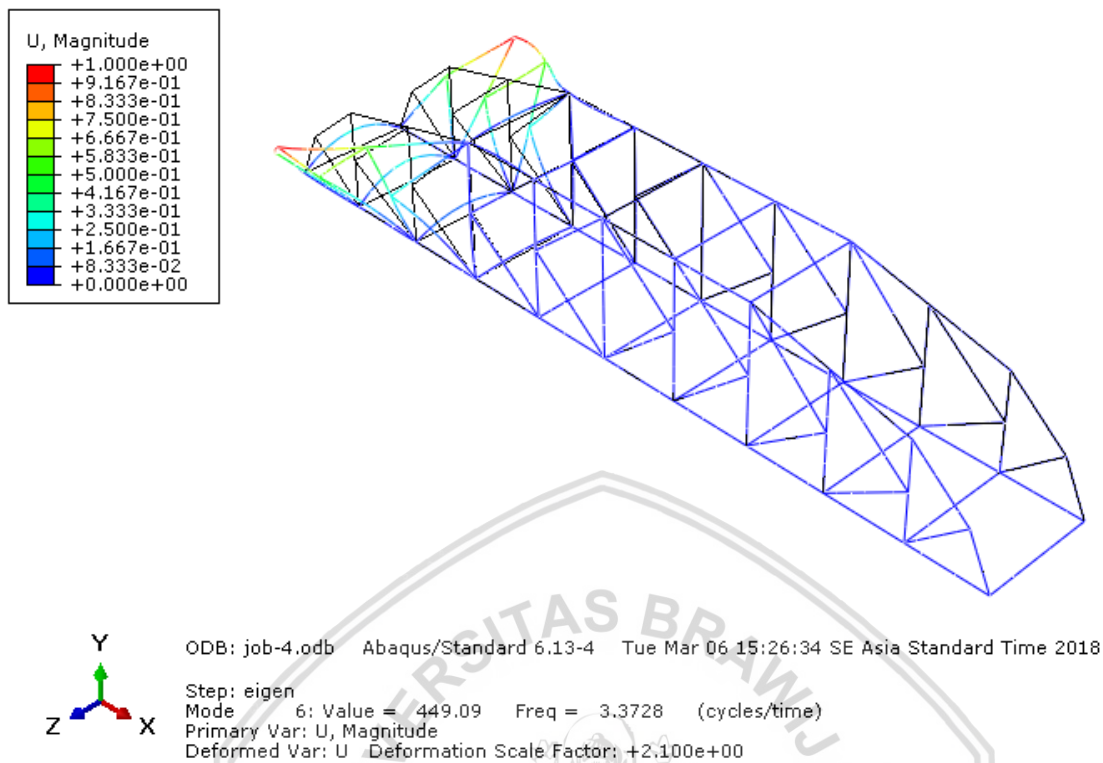
Hasil nilai *damping ratio* berupa besaran koefisien α dan β , kemudian selanjutnya bisa dilakukan analisis dinamis jembatan rangka menggunakan metode riwayat waktu (*time history*).



Gambar 4.5 Bentuk mode 1 jembatan rangka.



Gambar 4.6 Bentuk mode 5 jembatan rangka.

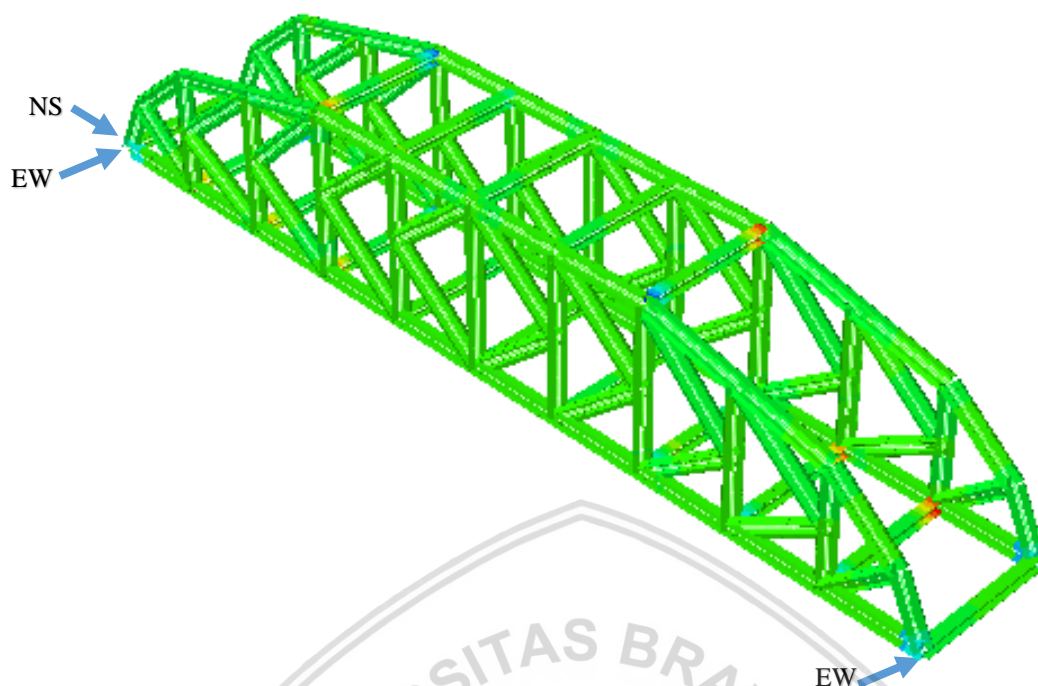


Gambar 4.7 Bentuk mode 6 jembatan rangka.

4.3 Hasil Simulasi Dinamis Jembatan Rangka Tipe K-Truss

Analisis dinamis dilakukan dengan menggunakan metode *time history*. Data gempa yang digunakan adalah data gempa yang berasal dari gempa El Centro, California 1979. Beban gempa yang diberikan pada struktur jembatan diberikan secara dua arah dan tiga arah yakni arah *East-West* (EW), *North-South* (NS), dan *Up-Down* (UD) yang bekerja pada masing-masing tumpuan sendi dan rol. **Gambar 4.8** menunjukkan arah *input* beban gempa yang dimasukkan melalui tumpuan jembatan.

Beban gempa merupakan salah satu faktor yang perlu diperhitungkan dalam merencanakan suatu jembatan. Jembatan direncanakan mampu dalam menahan beban gempa. Pada umumnya dalam merencanakan suatu jembatan, beban gempa yang diberikan menerapkan 1x percepatan. Namun dalam penelitian ini diterapkan 10x percepatan agar dapat mengetahui kapasitas jembatan tersebut. Setelah memasukkan data gempa dengan 10x percepatan, didapatkan output dari simulasi dinamis jembatan yakni nilai tegangan, regangan, dan perpindahan dari struktur jembatan tersebut.



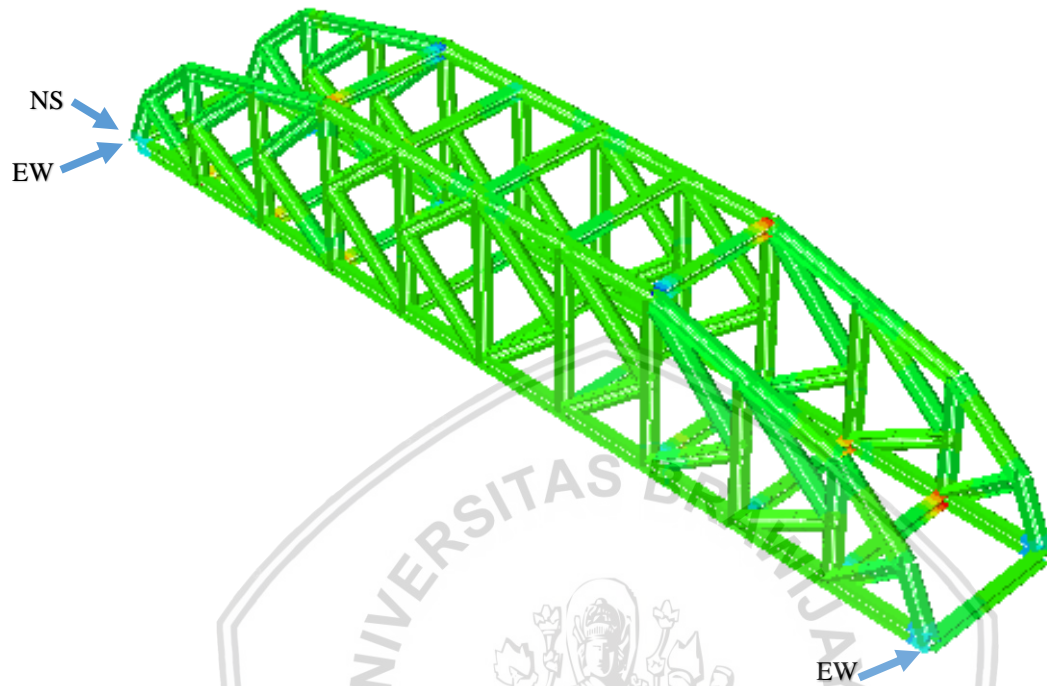
Gambar 4.8 Arah input beban gempa pada masing – masing tumpuan

4.4. Respon Struktur Terhadap Beban Gempa Dua Arah

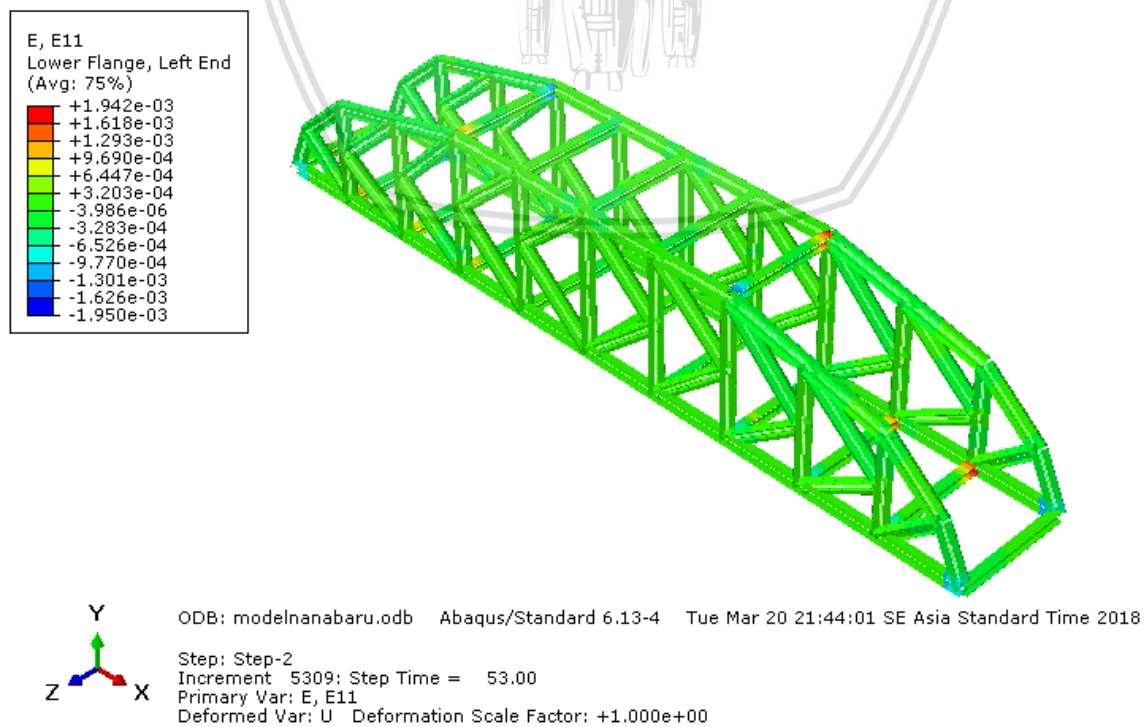
Analisis ini meninjau jembatan ke dalam 4 bagian, yakni batang dekat tumpuan sendi, batang bagian tengah atas, batang bagian tengah bawah, dan batang dekat tumpuan rol. Jembatan memiliki dua rangka utama sehingga tiap bagian yang ditinjau memiliki dua batang dari sisi yang berbeda. Beban gempa dimasukkan melalui tumpuan jembatan, yakni tumpuan sendi dan rol. Untuk beban gempa dua arah, beban gempa yang dimasukkan adalah arah x dan z. Beban gempa dengan nilai percepatan paling besar adalah beban gempa arah *North-South* (NS), juga analisis ini difokuskan ke rangka utama jembatan *K-Truss*. Maka dari itu, arah x pada jembatan dimasukkan beban gempa arah *North-South* (NS), sedangkan untuk arah z dimasukkan beban gempa arah *East-West* (EW). Input beban gempa pada masing - masing tumpuan digambarkan pada **Gambar 4.9**.

Hasil dari analisis ini berupa berbagai macam nilai, diantaranya besarnya *displacement*, tegangan aksial dan juga distribusi regangan. Respon struktur jembatan berupa tegangan aksial terdiri atas, tegangan aksial tarik dan tegangan aksial tekan yang terjadi pada masing-masing batang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.11**. Namun, untuk hasil distribusi regangan tarik dan tekan disajikan pada **Gambar 4.10**. Keterangan tegangan dan regangan batang yang tertera di dalam kotak adalah tegangan dan regangan aksial akhir yang

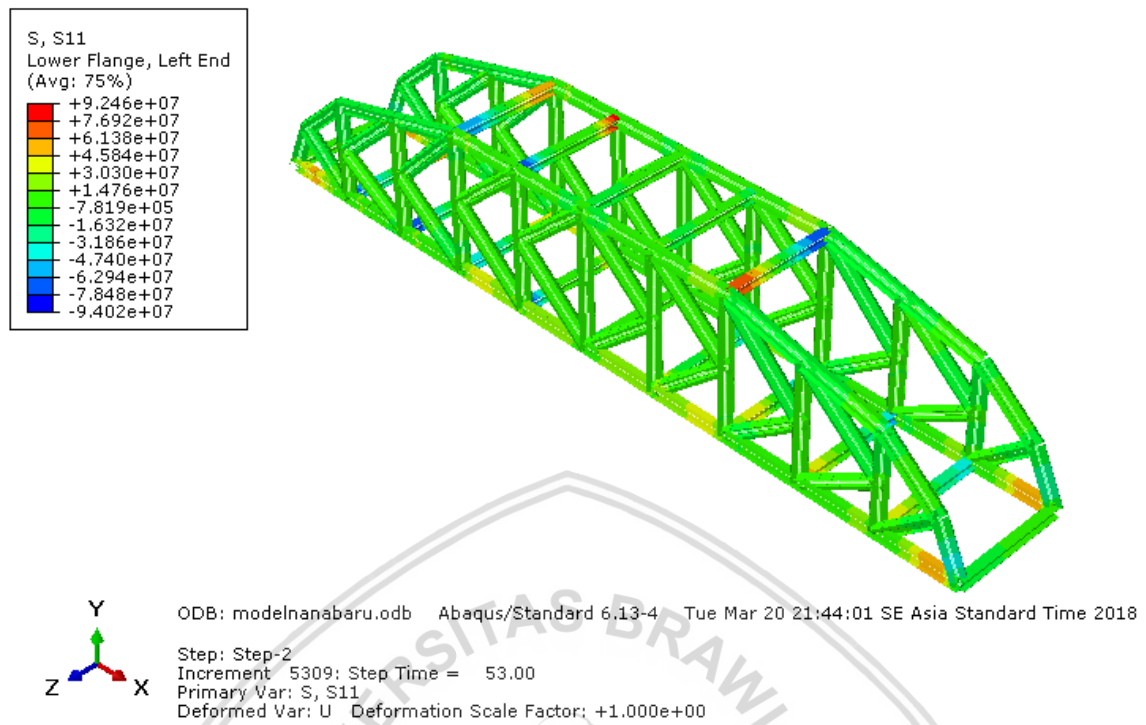
dicapai oleh struktur jembatan tersebut. Sedangkan, riwayat kurva tegangan dan regangan struktur jembatan rangka dari awal pembebanan hingga akhir akan dijelaskan pada pembahasan selanjutnya.



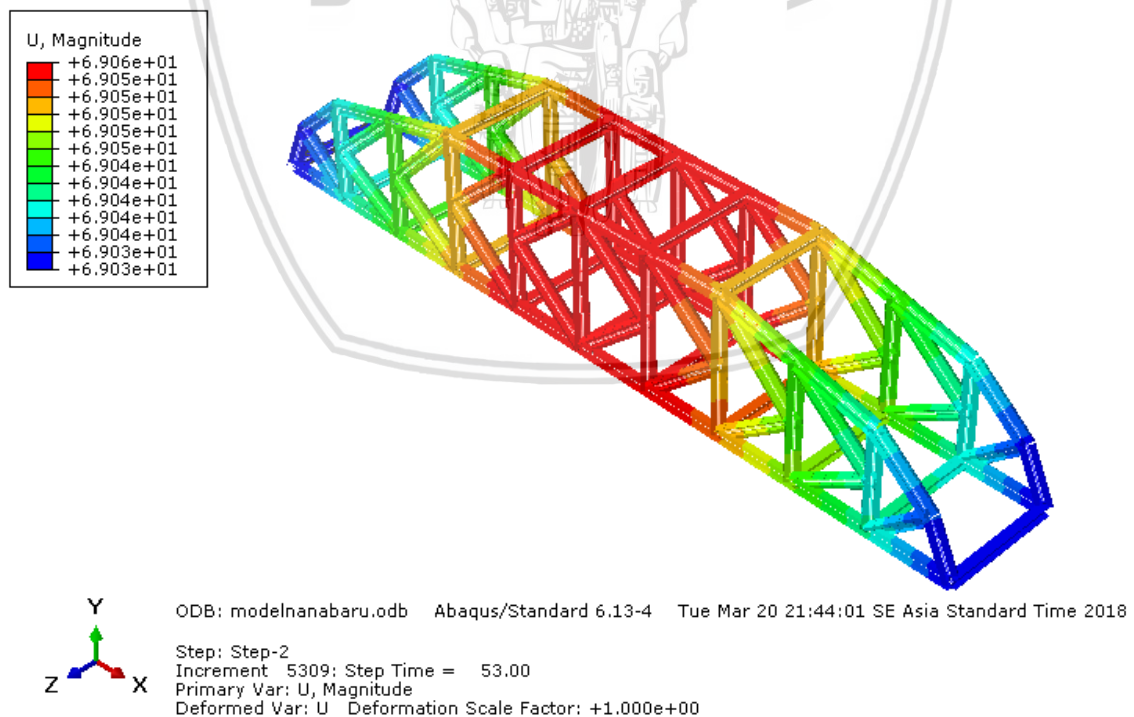
Gambar 4.9 Arah input beban gempa dua arah pada masing – masing tumpuan



Gambar 4.10 Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 2 arah



Gambar 4.11 Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 2 arah.



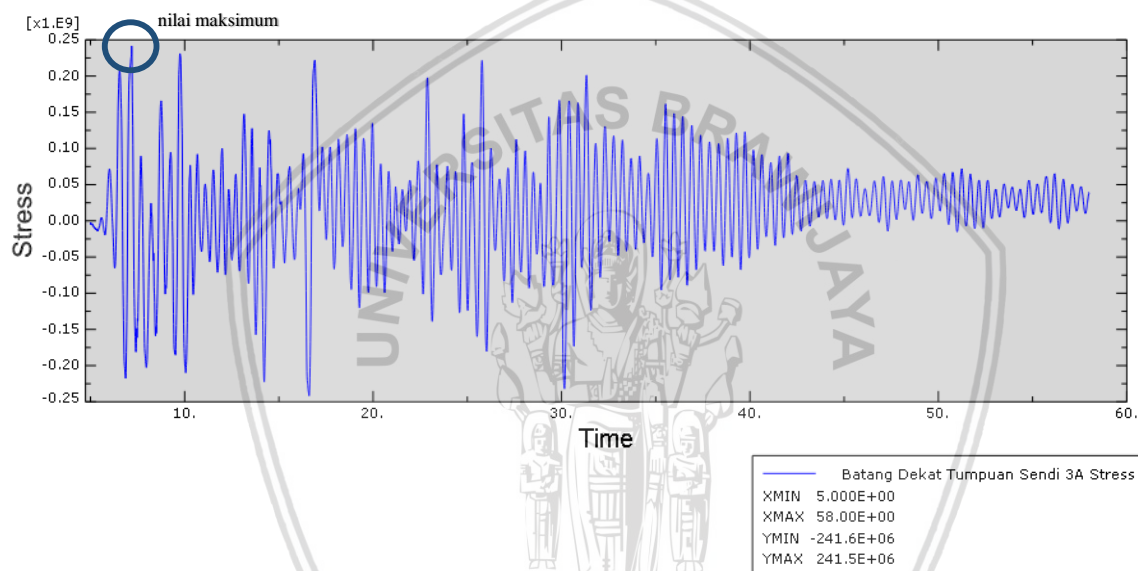
Gambar 4.12 Deformasi akibat beban gempa 2 arah.

Analisis dilakukan dengan memasukkan beban gempa dua arah. Kemudian didapatkan nilai tegangan dan regangan pada masing – masing batang yang ditinjau. Dari masing –

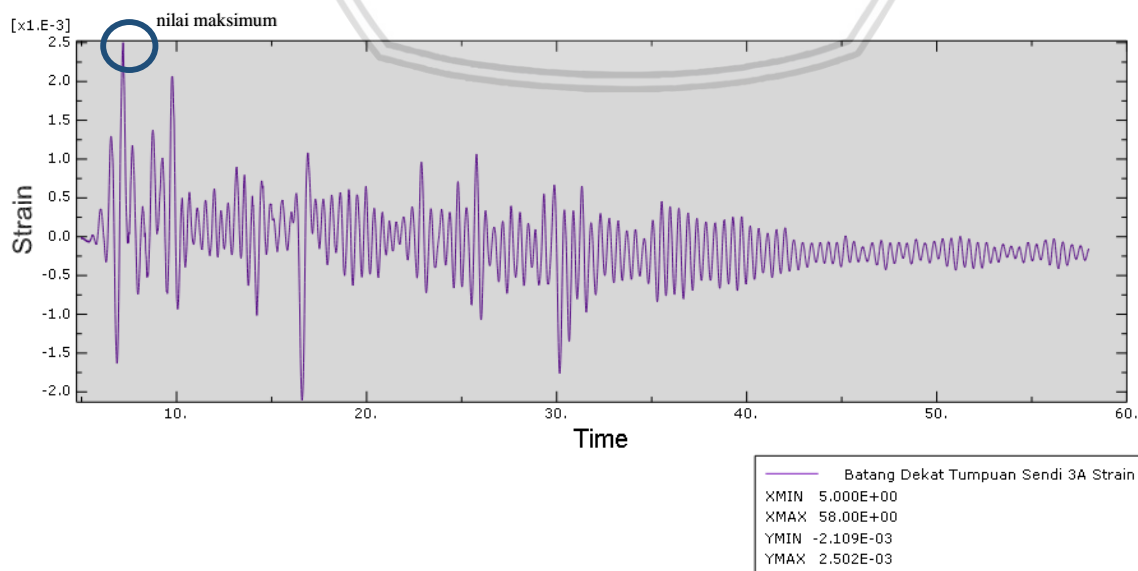
masing bagian yang ditinjau diambil nilai tegangan yang terbesar yang kemudian dibandingkan antar bagian yang ditinjau.

4.4.1 Batang Dekat Tumpuan Sendi

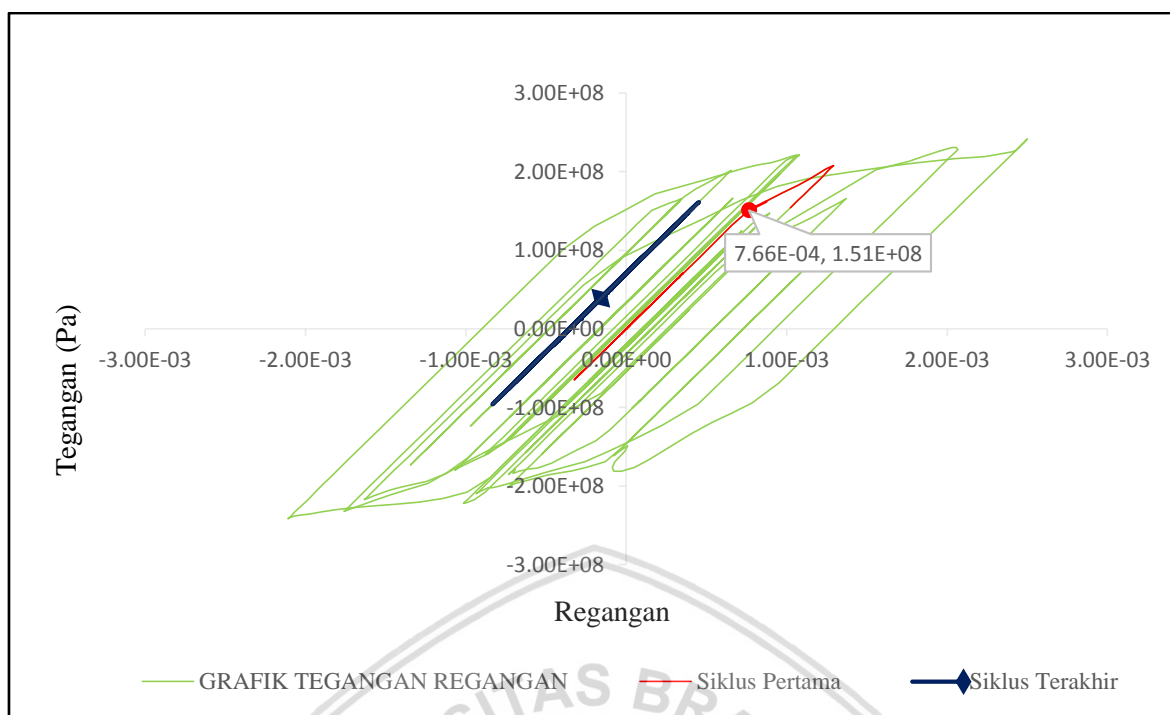
Dalam model struktur jembatan, terdapat dua batang yang dekat dengan tumpuan sendi, yakni satu batang yang dekat dengan sendi sisi kanan dan begitupula sisi sebaliknya. Hasil dari simulasi numerik model jembatan K-Truss berupa nilai tegangan dan regangan pada batang dekat tumpuan sendi yang disajikan dalam **Gambar 4.13**, **Gambar 4.14** dan **Gambar 4.15**. Dari analisis kedua batang didapatkan nilai tegangan dan regangan tarik terbesar yakni pada batang dekat dengan tumpuan sendi sisi kiri.



Gambar 4.13 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi



Gambar 4.14 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi

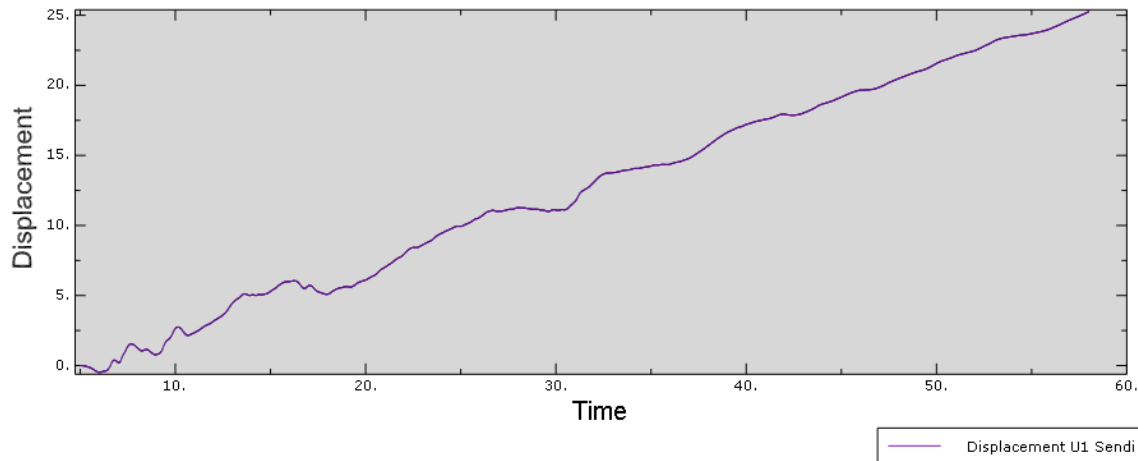


Gambar 4.15 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi

Pada **Gambar 4.15**, garis warna merah menunjukkan siklus pertama yang terjadi pada batang. Dalam kondisi tersebut, batang masih elastis dengan nilai $E = 200.000 \text{ MPa}$. Batang mulai berperilaku inelastis ketika tegangan yang terjadi sebesar 151 MPa dengan nilai regangan sebesar 0.000766 . Didapatkan nilai tegangan dan regangan maksimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 241.55 MPa dan 0.002502 .

Jika dilihat dari nilai tegangan maksimum yang terjadi pada batang, nilai tersebut belum mencapai nilai tegangan leleh batang yakni sebesar $342,65 \text{ MPa}$. Namun jika dilihat dari **Gambar 4.15**, grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa batang mengalami deformasi. Garis warna merah menunjukkan siklus pertama yang terjadi pada batang, sedangkan garis warna biru menunjukkan siklus terakhir dari batang tersebut. Jika dilihat dari posisi keduanya, menunjukkan bahwa batang meregang tanpa kembali ke bentuk semula sehingga bisa dikatakan bahwa batang telah mengalami leleh atau mulai mengalami kerusakan dengan nilai tegangan maksimum batang dekat tumpuan sendi tersebut.

Gambar 4.16 menunjukkan kurva nilai *displacement* arah x dalam satuan meter. Pada **Gambar 4.16**, terlihat bahwa nilai *displacement* yang terjadi pada batang terbilang cukup jauh. Hal itu dikarenakan beban gempa yang diberikan telah diperbesar $10x$ sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan yang jauh dari posisi awal.

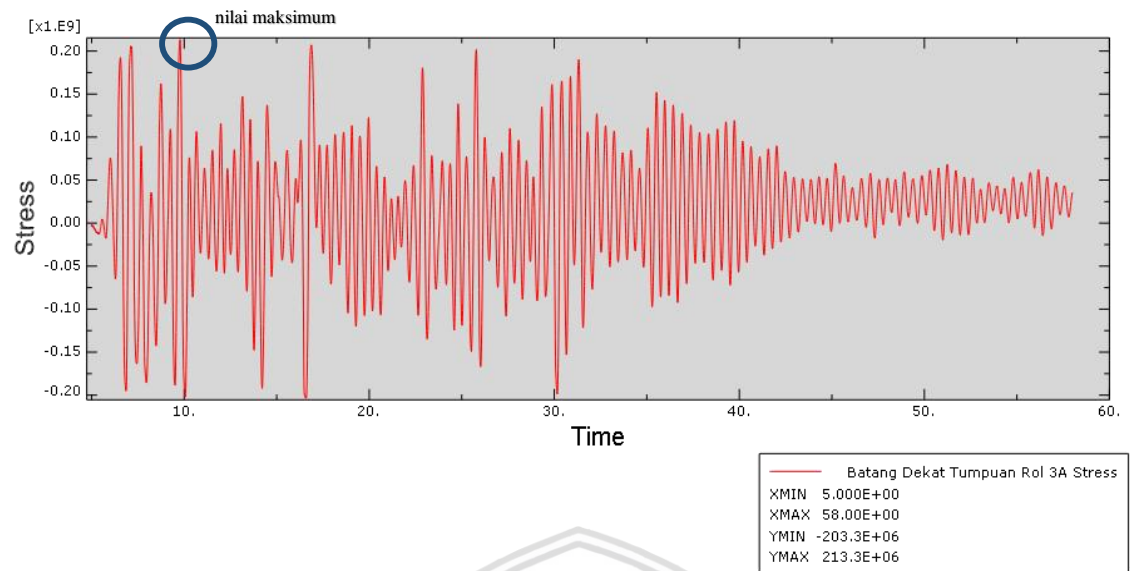


Gambar 4.16 Kurva *displacement* arah x

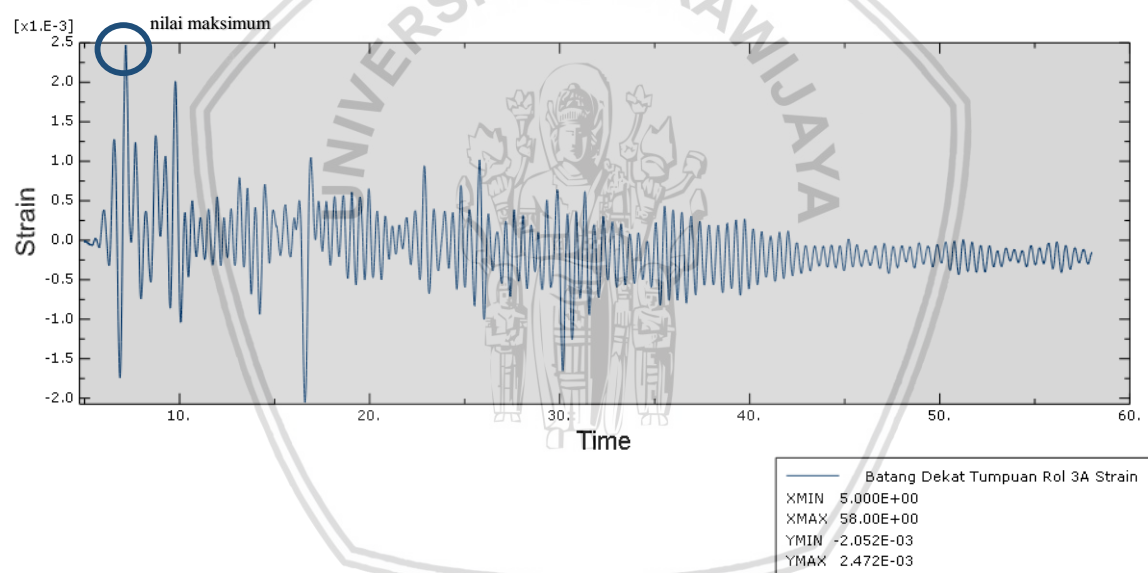
4.4.2 Batang Dekat Tumpuan Rol

Sama seperti batang dekat dengan tumpuan sendi, batang yang dekat dengan tumpuan rol memiliki dua batang dengan nilai tegangan dan regangan yang berbeda. Diantara keduanya, batang dekat dengan tumpuan rol sisi kiri memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan sisi sebaliknya. Untuk nilai tegangan dan regangan pada batang dekat tumpuan rol sisi kiri disajikan pada **Gambar 4.17** dan **Gambar 4.18**. Diantara keduanya dihubungkan sehingga membentuk grafik yang tersajikan pada **Gambar 4.19**. Hasil dari simulasi numerik model jembatan K-Truss didapatkan nilai tegangan dan regangan tarik pada batang dekat tumpuan rol sisi kiri yakni sebesar 213.26 MPa dan 0.002472. Jika dilihat dari nilai tegangan maksimum yang terjadi pada batang, nilai tersebut belum mencapai nilai tegangan leleh batang ($f_y=342,65$ MPa).

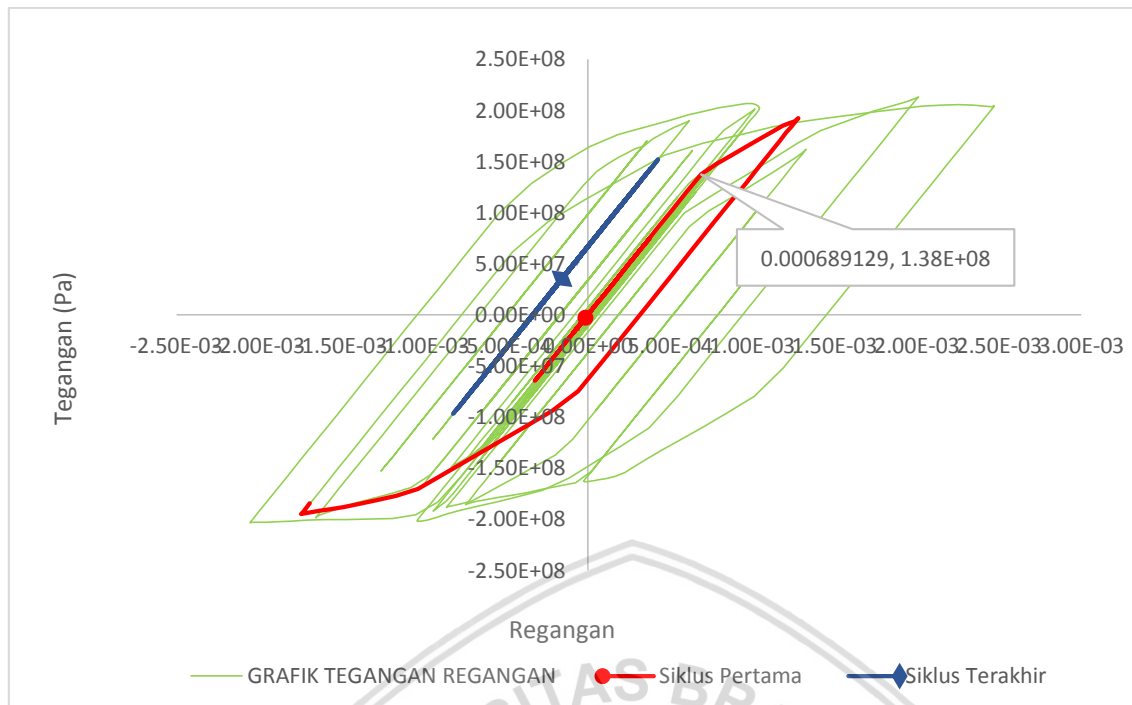
Pada **Gambar 4.19**, garis warna merah menunjukkan siklus pertama yang terjadi pada batang. Awalnya, batang berperilaku elastis dengan nilai $E=200.000$ MPa hingga tegangan yang diterima sebesar 138 MPa dengan nilai regangan sebesar 0.000689. Kemudian batang berperilaku inelastis hingga siklus terakhir dari batang tersebut dengan nilai regangan yang dicapai berakhir pada nilai 0.000179. Siklus terakhir batang menunjukkan bahwa batang telah mengalami peregangan tanpa kembali ke bentuk awal. Hal itu berarti batang sudah mengalami leleh atau sudah mulai mengalami kerusakan.



Gambar 4.17 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol

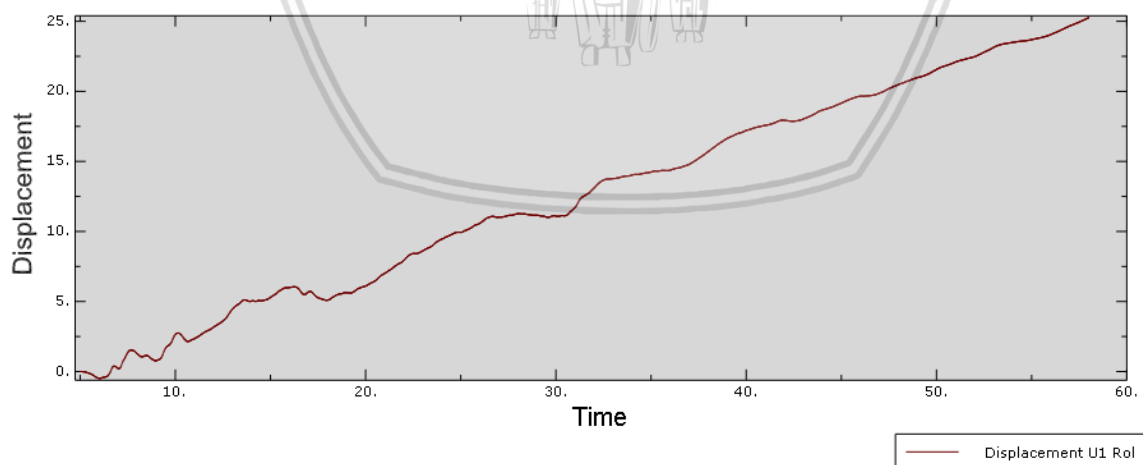


Gambar 4.18 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol



Gambar 4.19 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol

Selain menghasilkan tegangan dan regangan, hasil analisis numerik juga menghasilkan nilai perpindahan yang terjadi pada batang tersebut. Perpindahan pada arah x disajikan pada **Gambar 4.20**. Nilai perpindahan arah x terbilang cukup besar. Hal itu dipengaruhi oleh *input* beban gempa dengan 10x percepatan sehingga hal itu memungkinkan terjadinya perpindahan yang relatif jauh.

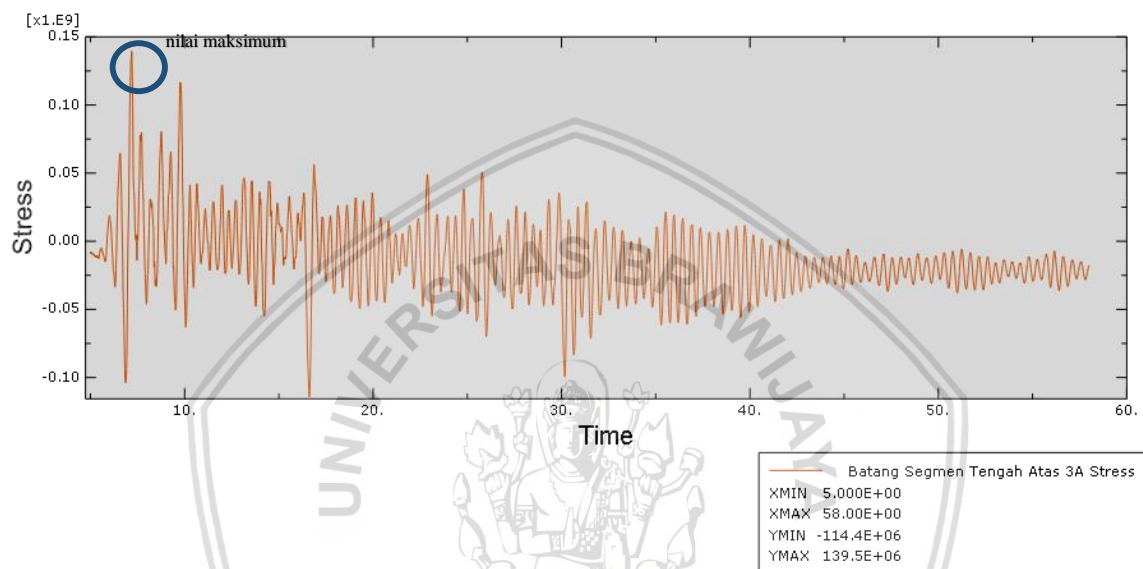


Gambar 4.20 Kurva *displacement* arah x

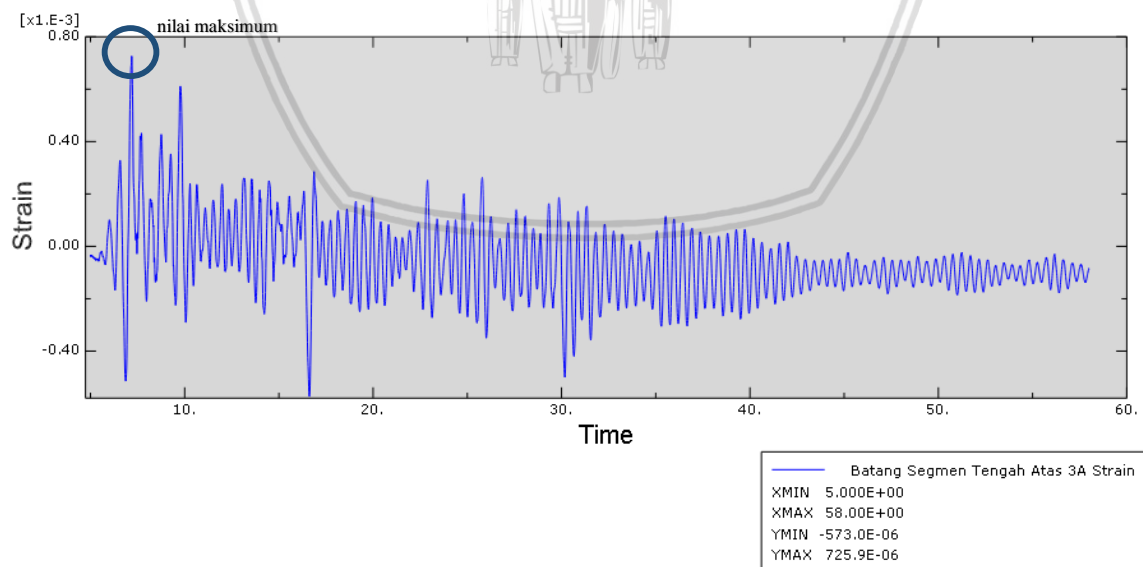
4.4.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas

Diantara sisi kiri dan kanan, nilai tegangan yang terbesar ada pada batang segmen tengah bagian atas sisi kanan. **Gambar 4.21** dan **Gambar 4.22** menunjukkan grafik nilai tegangan

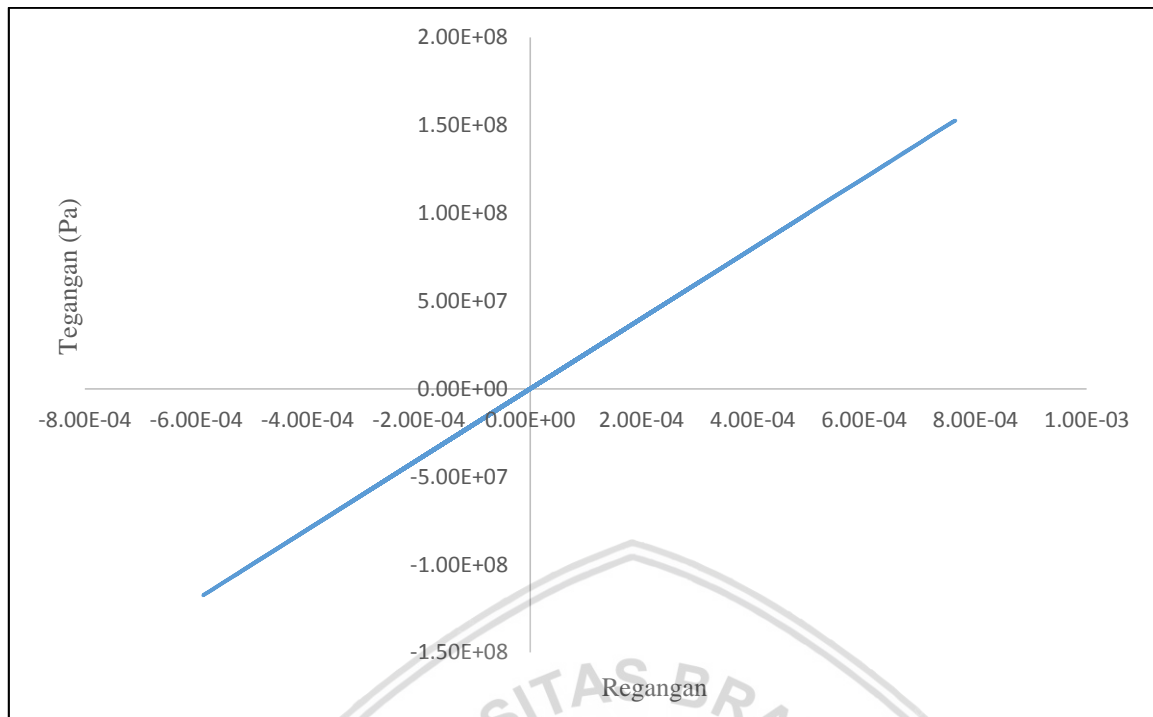
dan regangan tarik pada batang segmen tengah bagian atas. Nilai tegangan terbesar pada batang ini sebesar 139.49 MPa, sedangkan nilai regangan sebesar 0.0007259. Keduanya dihubungkan sehingga membentuk grafik yang disajikan pada **Gambar 4.23**. Apabila dilihat dari nilai tegangan maksimum yang ada pada batang, batang tersebut belum mengalami kerusakan dikarenakan belum mencapai titik leleh ($f_y = 342,65$ MPa). Dalam hal ini, batang masih mengalami fase elastis, yang artinya batang mulai masih dapat kembali ke bentuk awal.



Gambar 4.21 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas

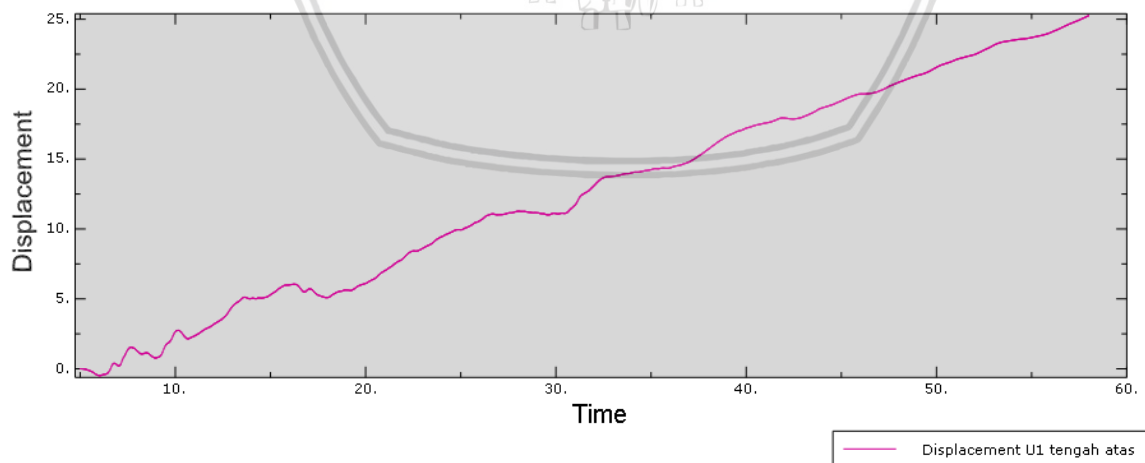


Gambar 4.22 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas



Gambar 4.23 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas

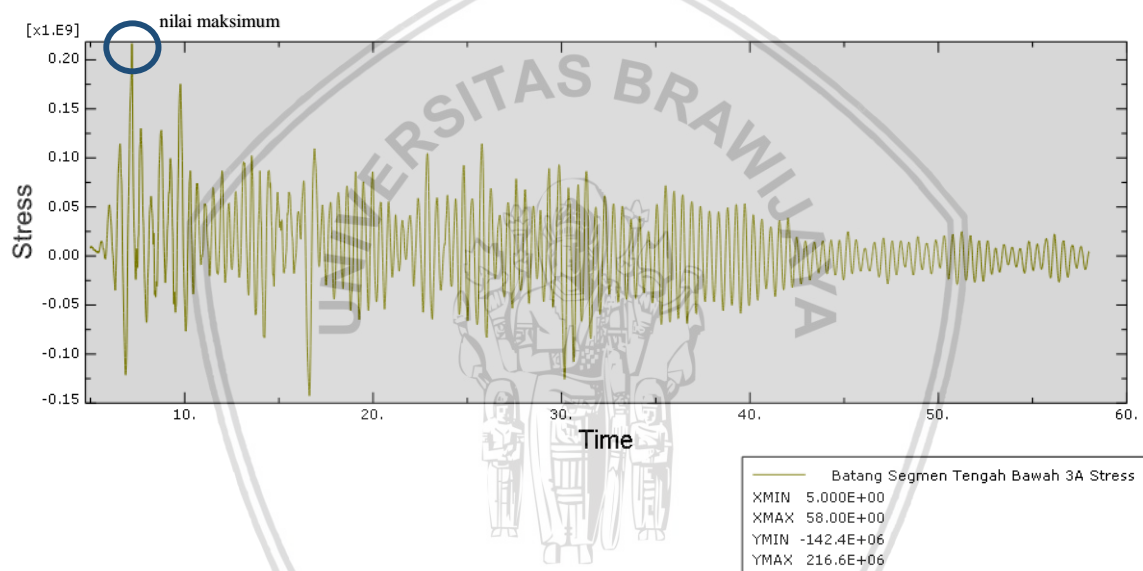
Perpindahan atau *displacement* batang segmen tengah bagian atas ini disajikan dalam **Gambar 4.24**. *Displacement* arah x memiliki nilai yang cukup tinggi. Hal ini dikarenakan, dalam *input* beban gempa dimasukkan beban gempa dengan 10x percepatan. Dengan percepatan sebesar itu memungkinkan terjadinya perpindahan yang cukup jauh pula.



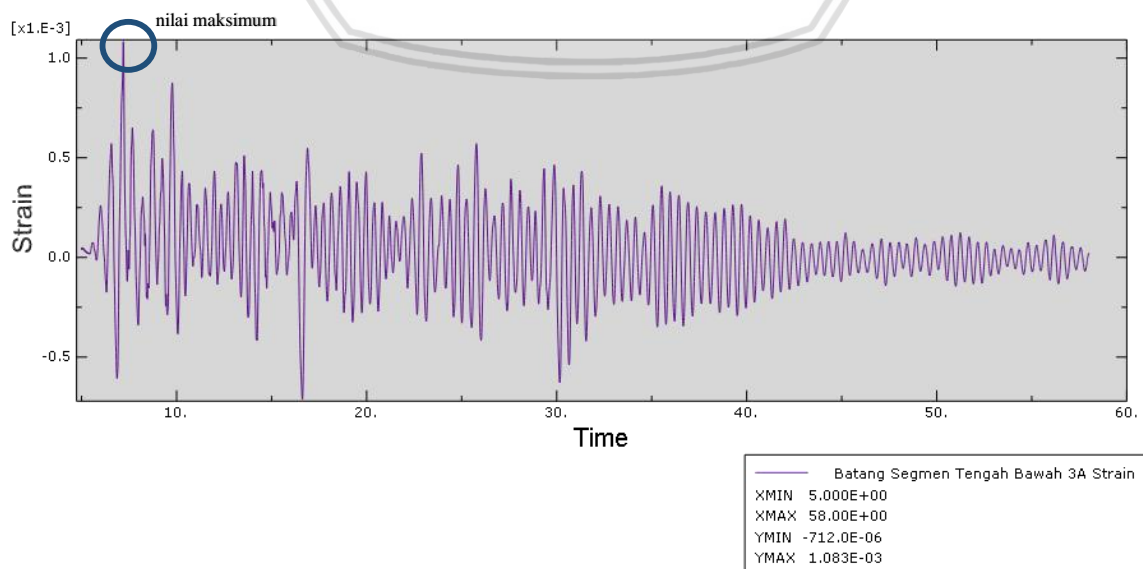
Gambar 4.24 Kurva *displacement* arah x

4.4.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah

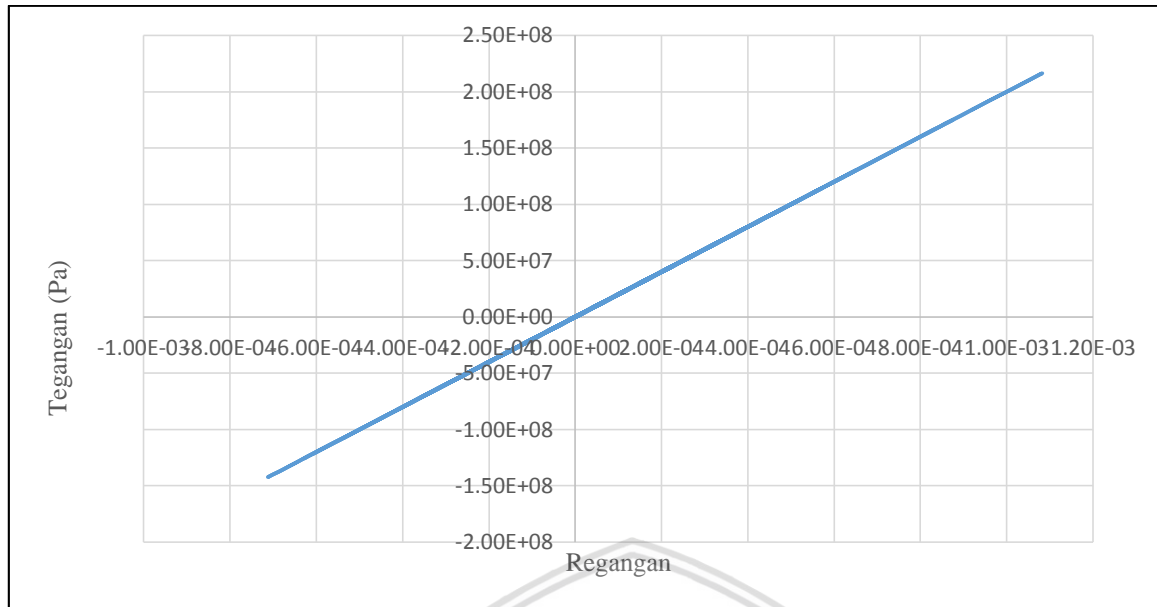
Berbeda dengan batang segmen tengah bagian atas, batang segmen tengah bagian bawah memiliki nilai tegangan yang lebih besar pada batang yang berada pada sisi kiri. Nilai tegangan dan regangan disajikan pada **Gambar 4.25** dan **Gambar 4.26**, sedangkan hubungan antara keduanya disajikan pada **Gambar 4.27**. Nilai tegangan tarik terbesar pada batang ini sebesar 216.592 MPa, sedangkan nilai regangan sebesar 0.001083. Dari **Gambar 4.27** menunjukkan bahwa batang tidak mengalami perubahan setelah mengalami beberapa siklus. Grafik yang ditunjukkan pada gambar membentuk linear, artinya pada setiap siklus, batang mengalami peregangan namun selalu kembali pada bentuk awal. Hal itu menunjukkan bahwa batang masih mengalami fase elastis.



Gambar 4.25 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah

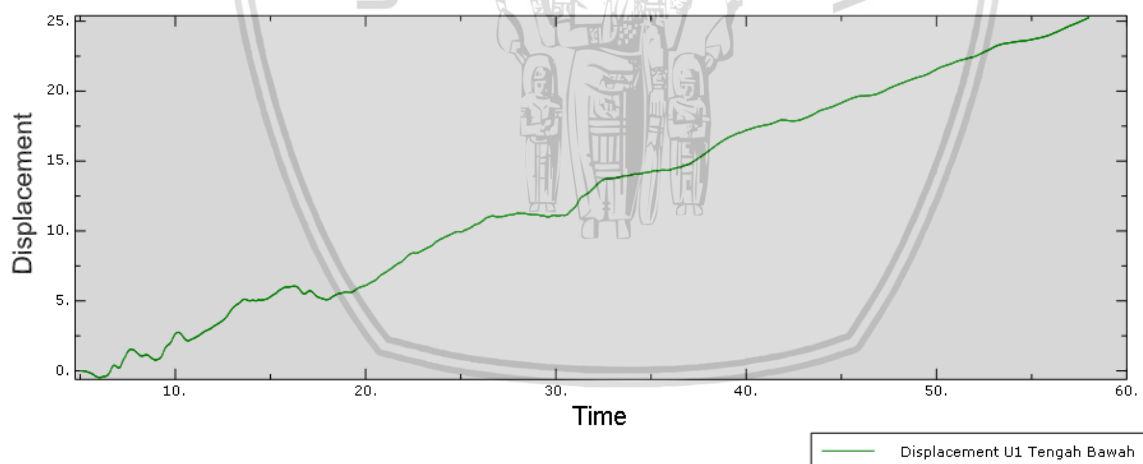


Gambar 4.26 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah



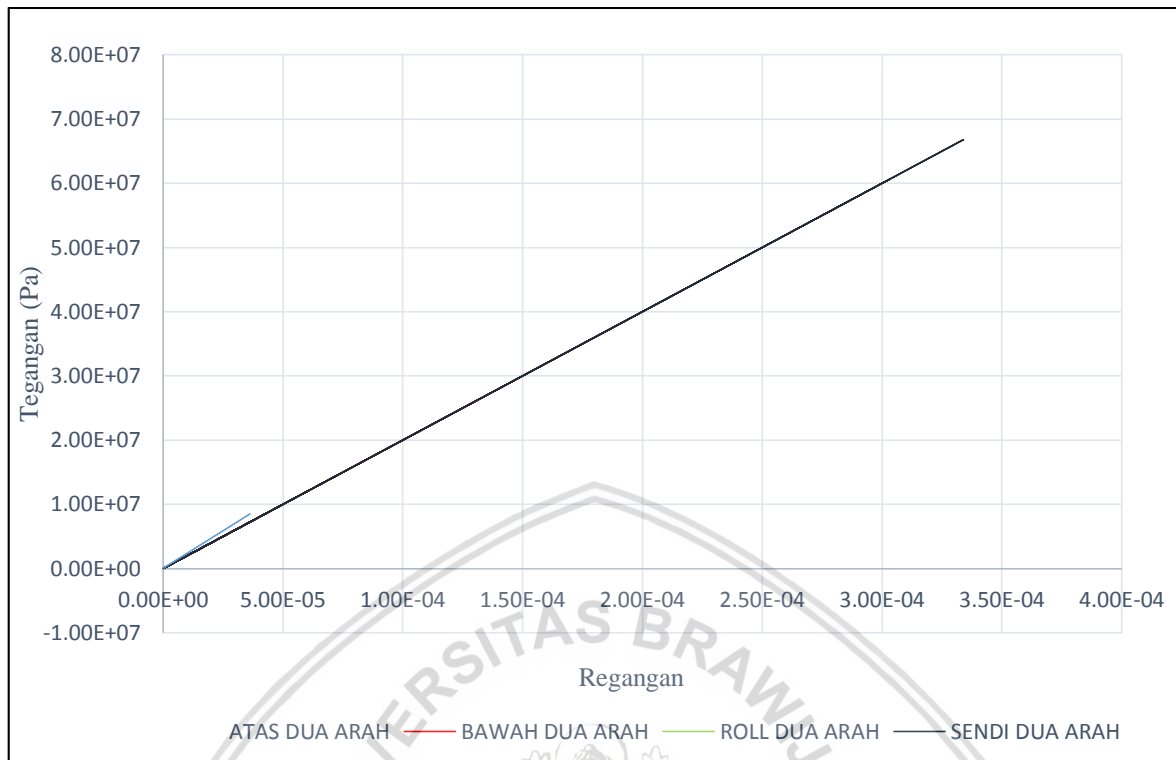
Gambar 4.27 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah

Perpindahan arah x yang terjadi pada batang ini memiliki nilai yang cukup besar. Hal ini disebabkan jembatan menerima beban gempa setelah mengalami 10x percepatan. Jadi, memungkinkan beban gempa mampu mendorong batang hingga jauh.



Gambar 4.28 Kurva displacement arah x

4.4.5 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau



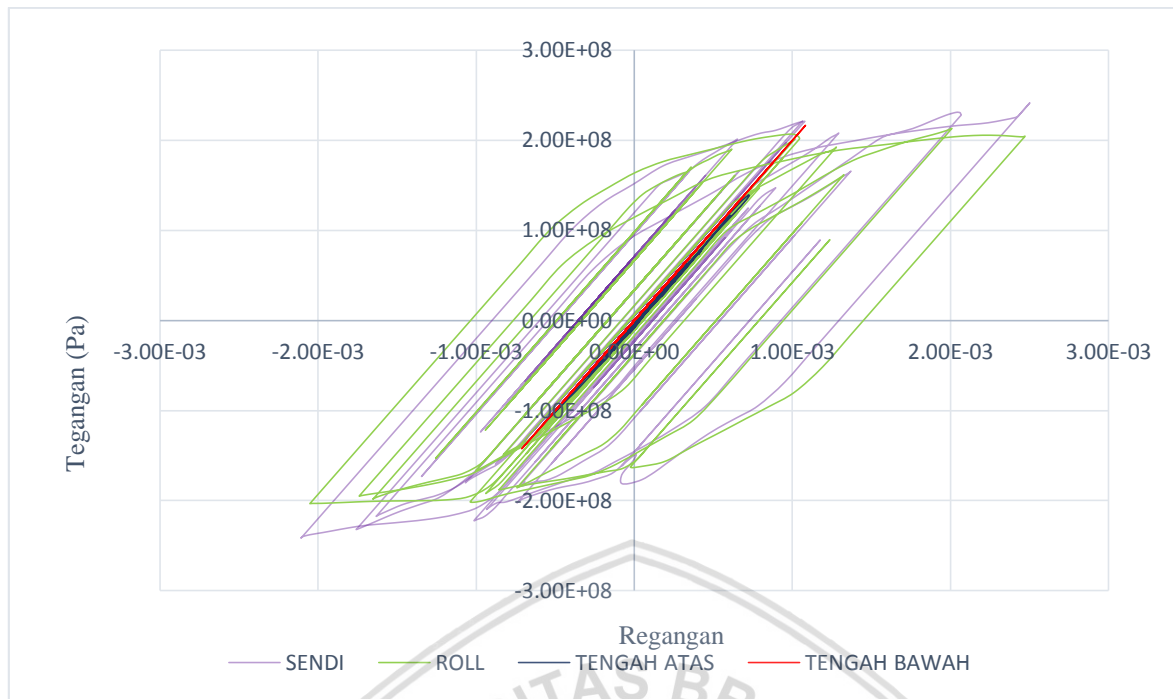
Gambar 4.29 Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama

Pada **Gambar 4.29**, menunjukkan hubungan tegangan-regangan yang terjadi pada seperempat siklus pertama di batang yang berbeda-beda. Dari gambar dapat kita lihat bahwa batang segmen tengah bawah, dan batang dekat dengan tumpuan sendi dan rol memiliki kecondongan garis yang hampir sama. Hal itu berarti ketiga batang memiliki kekakuan yang hampir sama juga. Berbeda dengan batang segmen tengah atas, batang tersebut lebih condong ke atas jika dibandingkan yang lainnya. Hal itu berarti ketiga batang tidak lebih kaku jika dibandingkan dengan batang segmen tengah atas, namun batang ini tidak memiliki perbedaan yang begitu signifikan jika dibandingkan dengan yang lain. Kecondongan kurva dapat dinilai berdasarkan nilai modulus elastisitas. Pernyataan tersebut didukung oleh nilai modulus elastisitas yang terjadi pada siklus pertama yang disajikan pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2

Nilai modulus elastisitas pada siklus pertama batang

No	Bagian batang	Tegangan (Pa)	Regangan	E (Mpa)
1	Batang dekat tumpuan sendi	2398640	1.199E-05	200002
2	Batang dekat tumpuan rol	9819230	4.910E-05	200000
3	Batang segmen tengah atas	8517390	3.634E-05	234354
4	Batang segmen tengah bawah	4486790	2.243E-05	200000



Gambar 4.30 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau

Gambar 4.30 merupakan gabungan dari grafik hubungan tegangan-regangan dari empat batang yang ditinjau sebelumnya, yakni batang dekat tumpuan sendi dan rol, dan batang segmen tengah atas dan bawah. Dari keempat grafik dapat dilihat bahwa batang dekat dengan tumpuan memiliki nilai tegangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan batang segmen tengah. Batang dekat dengan tumpuan juga memiliki regangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan batang segmen tengah. Grafik kedua batang segmen tengah hampir membentuk linear, artinya keduanya masih dalam kondisi elastis. Jika kondisi masih elastis, maka batang belum bersifat daktail.

Daktail merupakan kemampuan batang dalam meregang setelah melewati titik leleh. Dalam hal ini, hanya batang dekat tumpuan yang sudah bersifat daktail. Jika dibandingkan, batang dekat tumpuan rol lebih bersifat daktail daripada batang dekat tumpuan sendi. Hal itu didasarkan pada selisih antara nilai regangan pada saat batang mulai leleh dengan nilai regangan maksimum pada batang. Selisih dari tiap batang ditunjukkan pada **Tabel 4.3**. Presentase yang ditunjukkan pada tabel merupakan perbandingan antara selisih regangan pada batang dekat tumpuan yang ditinjau dengan batang yang memiliki nilai selisih regangan paling tinggi dalam bentuk persen. Batang dekat tumpuan sendi memiliki nilai daktilitas 2.62% lebih rendah dibandingkan dengan batang dekat tumpuan rol.

Tabel 4.3

Selisih nilai regangan antar batang yang ditinjau

No	Bagian Jembatan	Regangan Leleh	Regangan Maksimum	Selisih Regangan	Presentase (%)
1	Batang dekat tumpuan sendi	0.00076587	0.00250167	0.001736	-2.62
2	Batang dekat tumpuan rol	0.00068913	0.00247161	0.001782	0

Kapasitas struktur jembatan dapat diukur melalui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada jembatan. Tegangan maksimum berarti beban maksimum yang mampu ditahan oleh batang akibat beban gempa dengan 10x percepatan. Hal itu dikarenakan jembatan sudah dianggap runtuh akibat beban gempa dengan 10x percepatan. Oleh karena itu kapasitas struktur jembatan dapat diukur melalui tegangan maksimum yang terjadi.

Pada jembatan ini, batang yang memiliki tegangan maksimum adalah batang dekat tumpuan sendi. Nilai tegangan antar batang yang ditinjau disajikan dalam **Tabel 4.4**. Presentase pada tabel menunjukkan perbandingan selisih antara tegangan maksimum pada masing-masing batang dan tegangan maksimum pada struktur jembatan, dengan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur jembatan dalam persen. Tegangan maksimum batang sebesar 231.327 MPa pada batang dekat tumpuan sendi. Jadi dapat disimpulkan kapasitas struktur jembatan K-Truss akibat beban gempa dua arah mampu menahan beban hingga 231.327 MPa.

Tabel 4.4

Nilai tegangan maksimum antar batang yang ditinjau

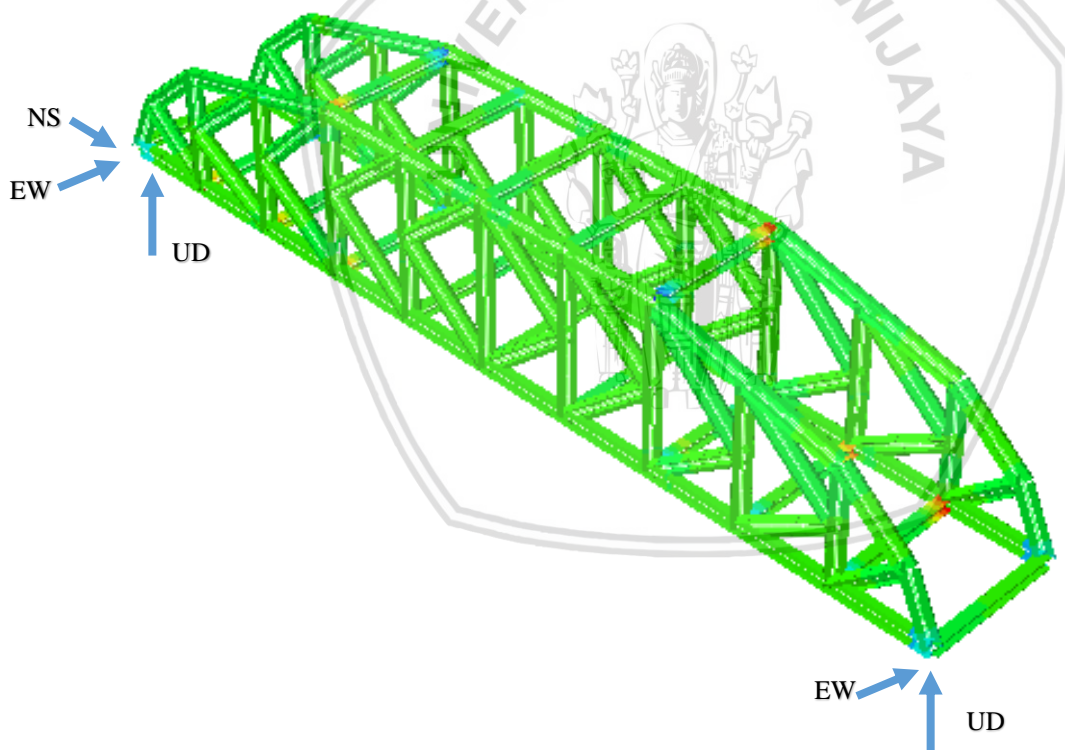
No	Bagian Jembatan	Tegangan (Pa)	Presentase (%)
1	Batang dekat tumpuan sendi	241547000	0
2	Batang dekat tumpuan rol	213259000	-11.71
3	Batang tengah atas	139491000	-42.25
4	Batang tengah bawah	216592000	-10.33

4.5 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa Tiga Arah

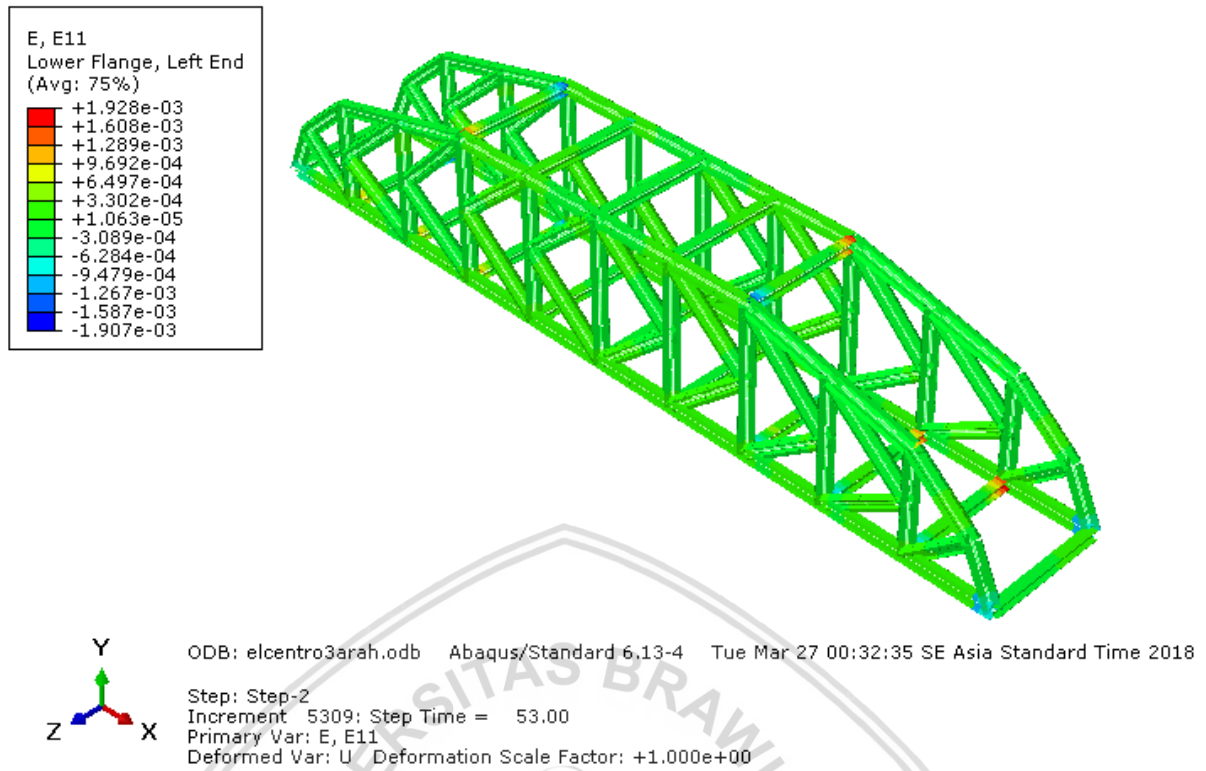
Selanjutnya dilakukan analisis respon struktur terhadap beban gempa tiga arah. Beban gempa yang diberikan pada struktur jembatan diberikan melalui tumpuan sendi dan rol. Pada analisis akibat beban dua arah hanya memberikan beban gempa dua arah saja, yakni *North-South* (NS) dan *East-West* (EW), sedangkan untuk akibat beban tiga arah ditambah beban gempa pada arah *Up-Down* (UD). Untuk arah x dimasukkan beban gempa arah NS, arah y

dimasukkan beban gempa arah UD, dan arah z dimasukkan beban gempa arah EW. Selanjutnya dilakukan analisis numerik pada batang sehingga didapatkan *output* berupa tegangan, regangan, dan *displacement*.

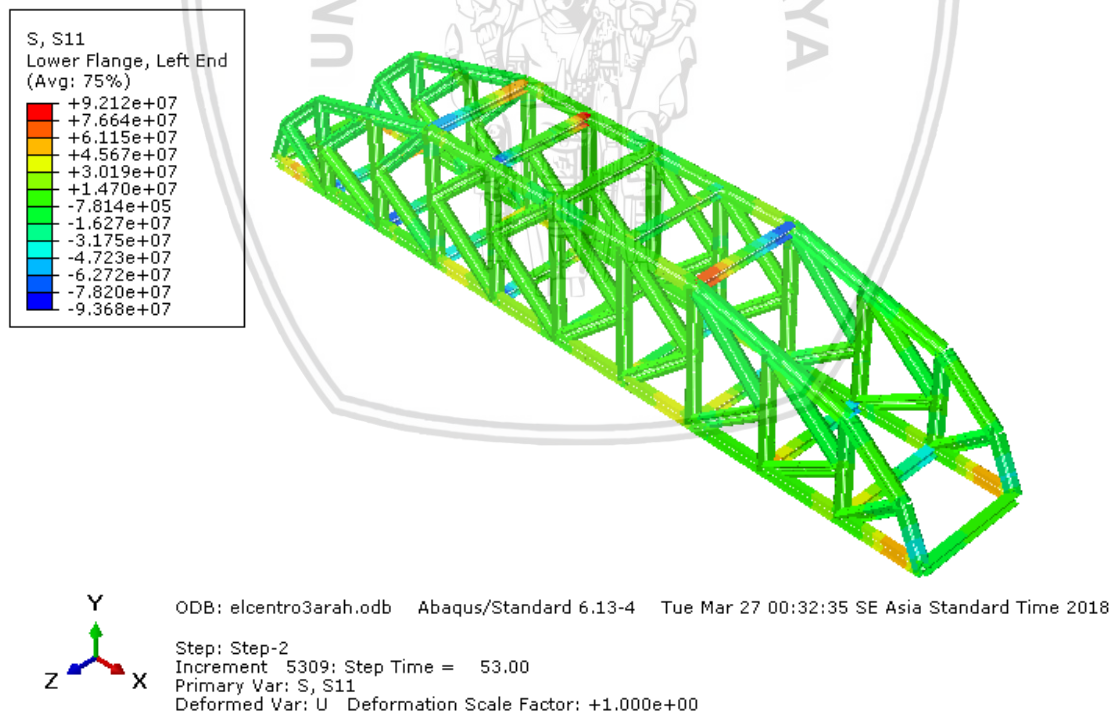
Hasil dari analisis ini berupa berbagai macam nilai, diantaranya besarnya *displacement*, tegangan aksial dan juga distribusi regangan. Respon struktur jembatan berupa tegangan aksial terdiri atas, tegangan aksial tarik dan tegangan aksial tekan yang terjadi pada masing-masing batang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.31**. Namun, untuk hasil distribusi regangan tarik dan tekan disajikan pada **Gambar 4.32**. Keterangan tegangan dan regangan batang yang tertera di dalam kotak adalah tegangan dan regangan aksial akhir yang dicapai oleh struktur jembatan tersebut. Sedangkan, riwayat kurva tegangan dan regangan struktur jembatan rangka dari awal pembebanan hingga akhir akan dijelaskan pada pembahasan selanjutnya.



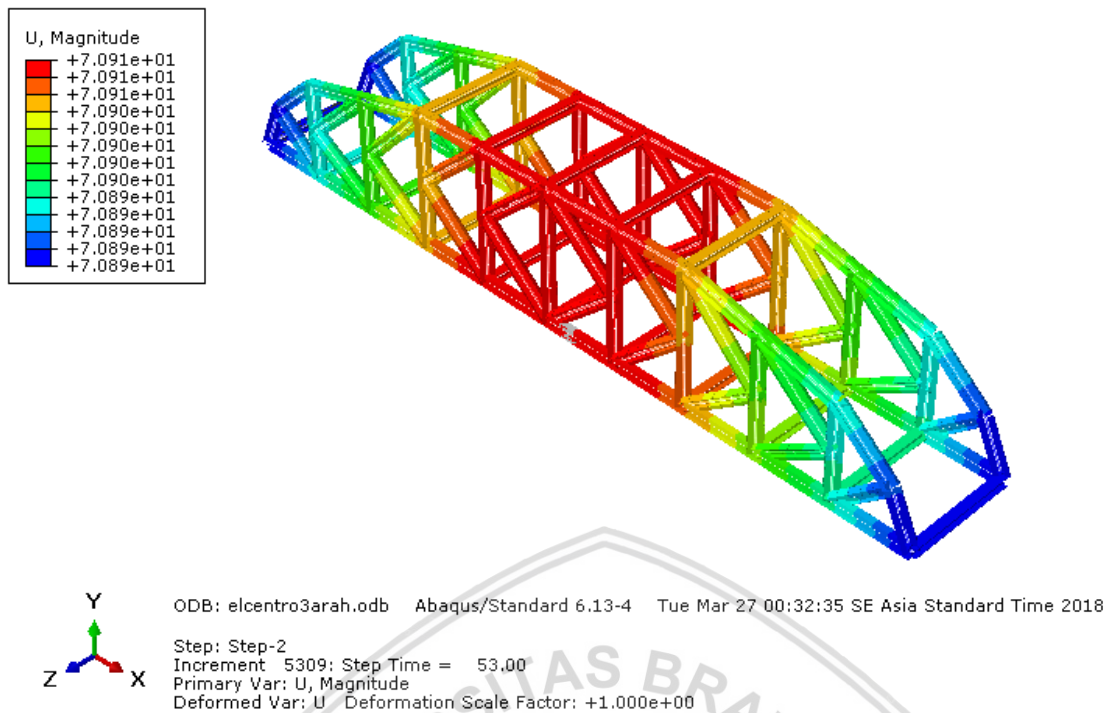
Gambar 4.31 Arah input beban gempa dua arah pada masing – masing tumpuan



Gambar 4.32 Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 3 arah



Gambar 4.33 Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 3 arah.



Gambar 4.34 Deformasi akibat beban gempa 3 arah.

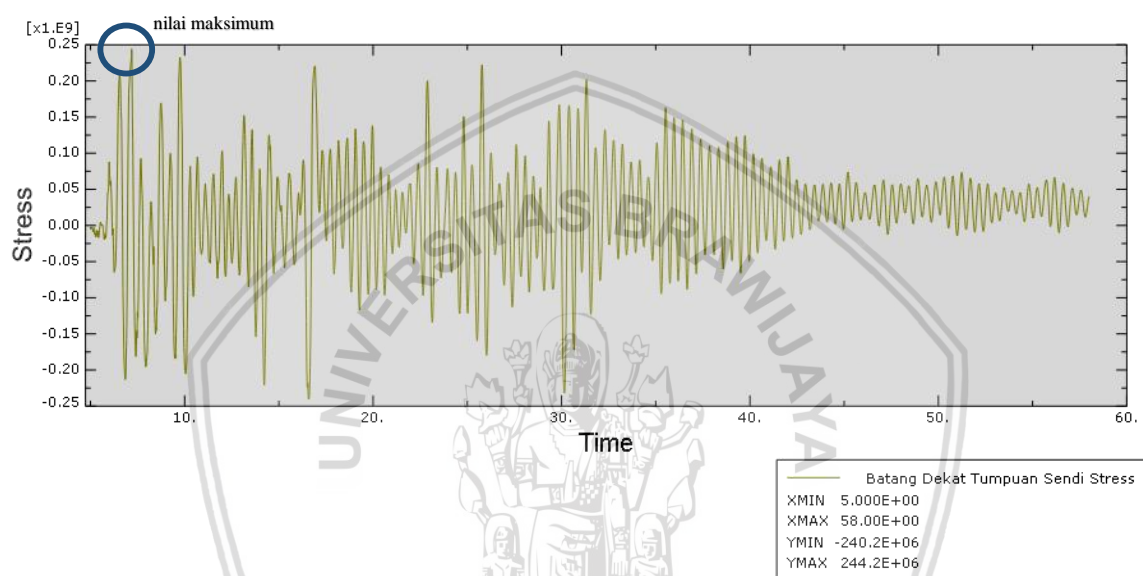
Analisis dilakukan dengan memasukkan beban gempa dua arah. Kemudian didapatkan nilai tegangan dan regangan pada masing – masing batang yang ditinjau. Dari masing – masing bagian yang ditinjau diambil nilai tegangan yang terbesar yang kemudian dibandingkan antar bagian yang ditinjau.

4.5.1 Batang Dekat Tumpuan Sendi

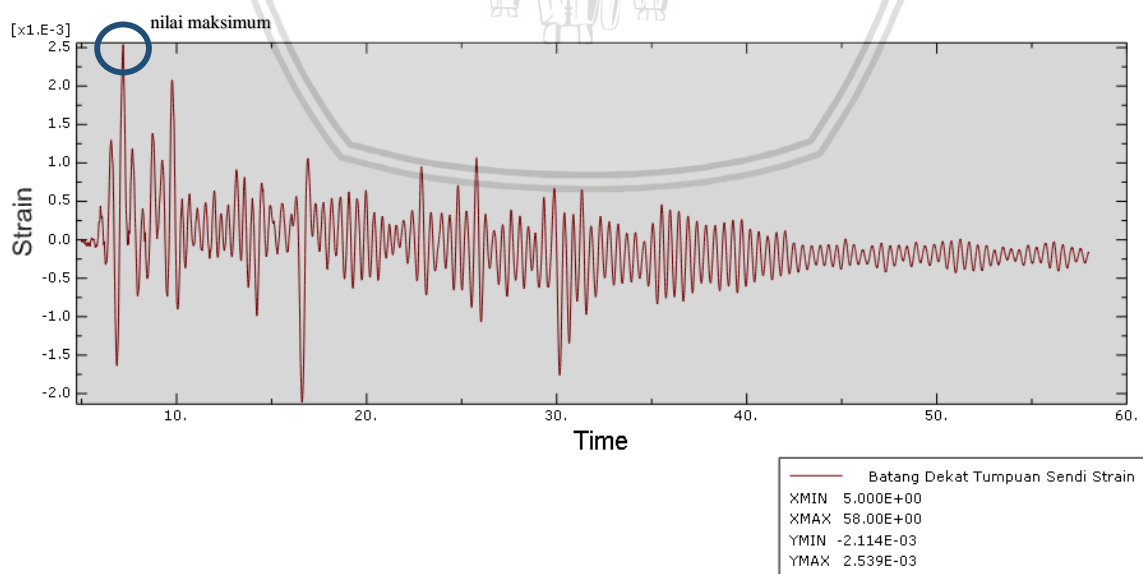
Dalam model struktur jembatan, terdapat dua batang yang dekat dengan tumpuan sendi, yakni satu batang yang dekat dengan sendi sisi kanan dan begitupula sisi sebaliknya. Dari analisis kedua batang didapatkan nilai tegangan dan regangan terbesar pada batang yang dekat dengan tumpuan sendi sisi kiri. Hasil dari simulasi numerik model jembatan K-Truss berupa nilai tegangan dan regangan pada batang dekat tumpuan sendi yang disajikan dalam **Gambar 4.35**, **Gambar 4.36** dan **Gambar 4.37**.

Pada **Gambar 4.37**, garis warna merah menunjukkan siklus pertama yang terjadi pada batang. Dalam kondisi tersebut, batang masih elastis dengan nilai $E = 200.000 \text{ MPa}$. Batang mulai berperilaku inelastis ketika tegangan tarik yang terjadi sebesar 151 MPa dengan nilai regangan sebesar 0.000764 . Didapatkan nilai tegangan dan regangan maksimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 244.18 MPa dan 0.0025392 .

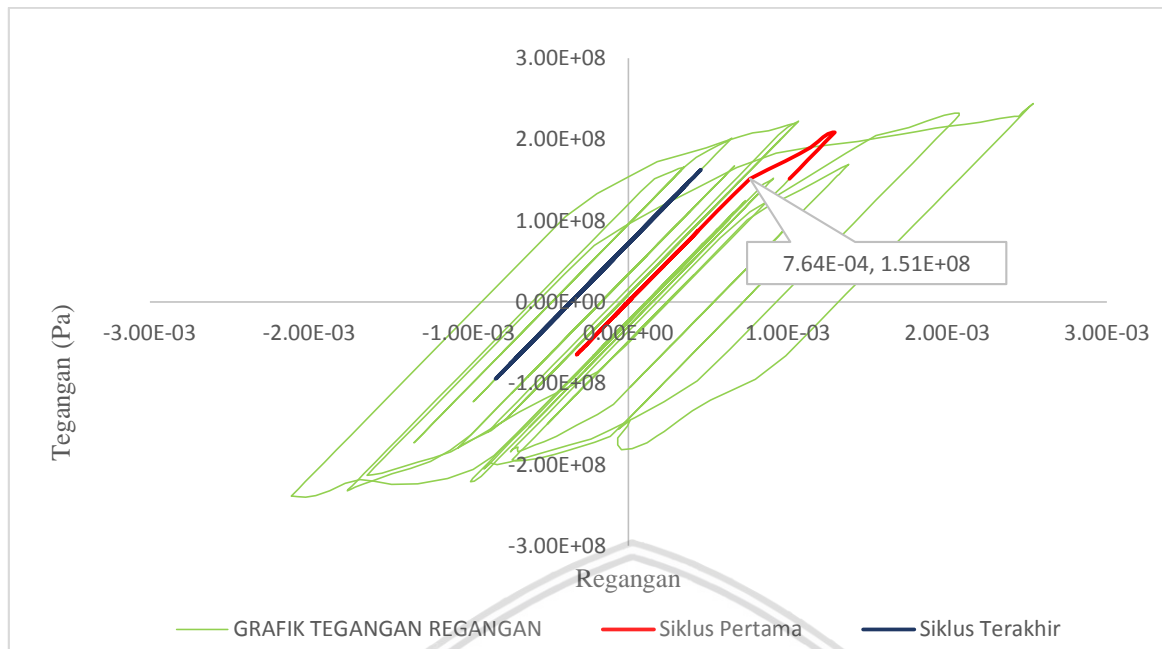
Jika dilihat dari nilai tegangan maksimum yang terjadi pada batang, nilai tersebut belum mencapai nilai tegangan leleh batang yakni sebesar 342,65 MPa. Namun jika dilihat dari **Gambar 4.37**, grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa batang mengalami deformasi. Garis warna merah menunjukkan siklus pertama yang terjadi pada batang, sedangkan garis warna biru menunjukkan siklus terakhir dari batang tersebut. Jika dilihat dari posisi keduanya, menunjukkan bahwa batang meregang tanpa kembali ke bentuk semula sehingga bisa dikatakan bahwa batang telah mengalami leleh atau mulai mengalami kerusakan dengan nilai tegangan maksimum batang dekat tumpuan sendi tersebut.



Gambar 4.35 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi

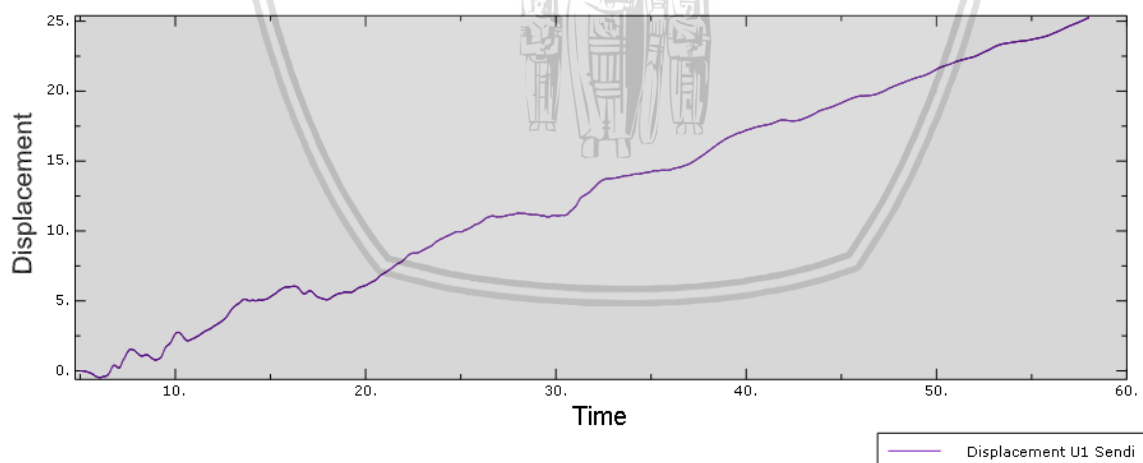


Gambar 4.36 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi



Gambar 4.37 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi

Gambar 4.38 menunjukkan kurva nilai *displacement* arah x. Pada **Gambar 4.38**, terlihat bahwa nilai *displacement* yang terjadi pada batang terbilang cukup jauh. Hal itu dikarenakan, beban gempa yang diberikan telah diperbesar 10x sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan yang jauh dari posisi awal.



Gambar 4.38 Kurva *displacement* arah x

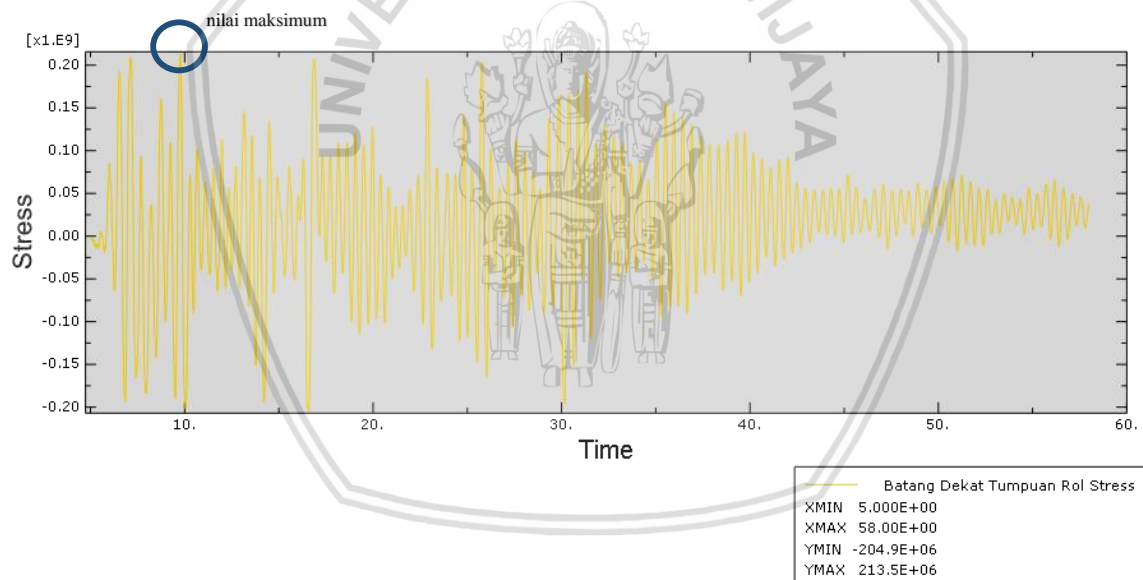
4.5.2 Batang Dekat Tumpuan Roll

Sama seperti batang yang dekat dengan tumpuan sendi, batang yang dekat dengan tumpuan rol memiliki dua batang dengan nilai tegangan dan regangan yang berbeda. Diantara keduanya, batang dekat dengan tumpuan rol sisi kiri memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan sisi sebaliknya. Untuk nilai tegangan dan regangan pada batang dekat tumpuan

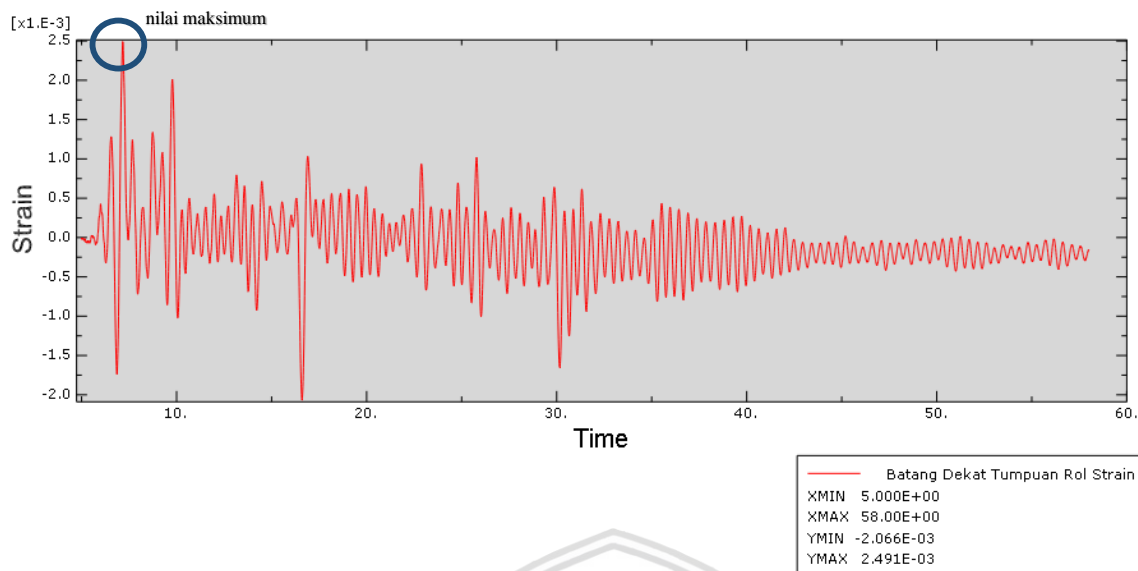
rol sisi kiri disajikan pada **Gambar 4.39** dan **Gambar 4.40**. Diantara keduanya dihubungkan sehingga membentuk grafik yang tersajikan pada **Gambar 4.41**.

Hasil dari simulasi numerik model jembatan K-Truss didapatkan nilai tegangan dan regangan tarik pada batang dekat tumpuan rol sisi kiri yakni sebesar 213.26 MPa dan 0.0024911. Jika dilihat dari nilai tegangan maksimum yang terjadi pada batang, nilai tersebut belum mencapai nilai tegangan leleh batang ($f_y=342,65$ MPa).

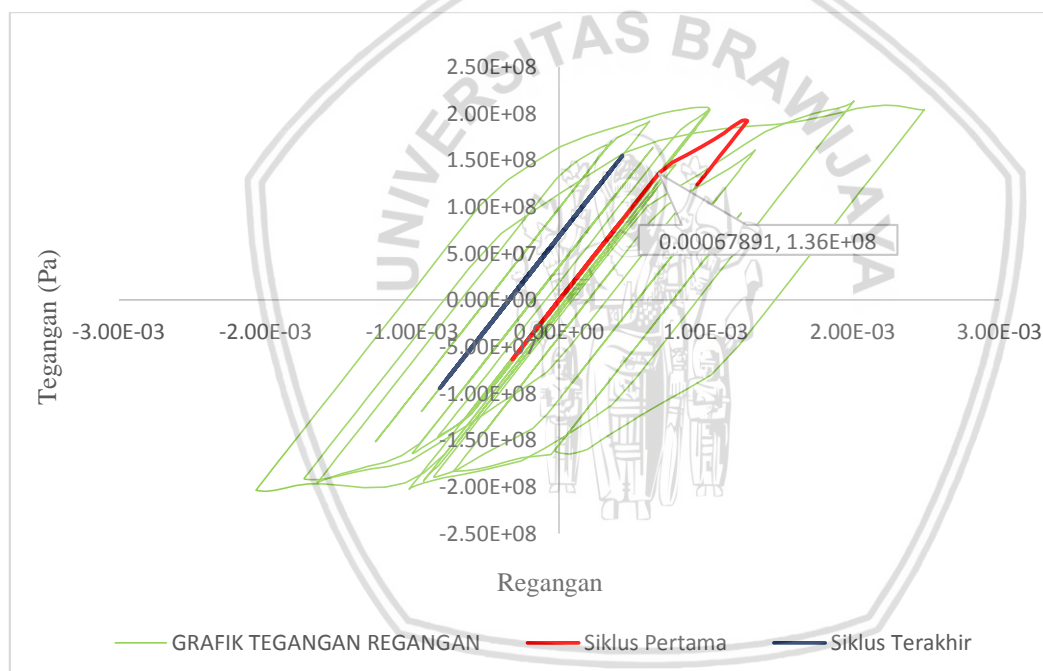
Pada **Gambar 4.41**, garis warna merah menunjukkan siklus pertama yang terjadi pada batang. Awalnya, batang berperilaku elastis dengan nilai $E=200.000$ MPa hingga tegangan yang diterima sebesar 136 MPa dengan nilai regangan sebesar 0.0006789. Kemudian batang berperilaku inelastis hingga siklus terakhir dari batang tersebut dengan nilai regangan yang dicapai berakhir pada nilai 0.000179. Siklus terakhir batang menunjukkan bahwa batang telah mengalami peregangan tanpa kembali ke bentuk awal. Hal itu berarti batang sudah mengalami leleh atau sudah mulai mengalami kerusakan.



Gambar 4.39 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol

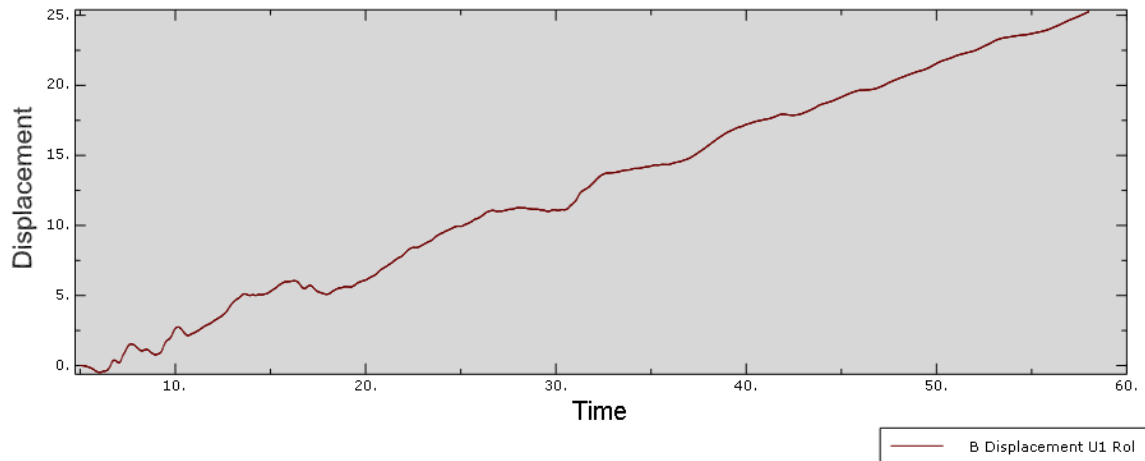


Gambar 4.40 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol



Gambar 4.41 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol

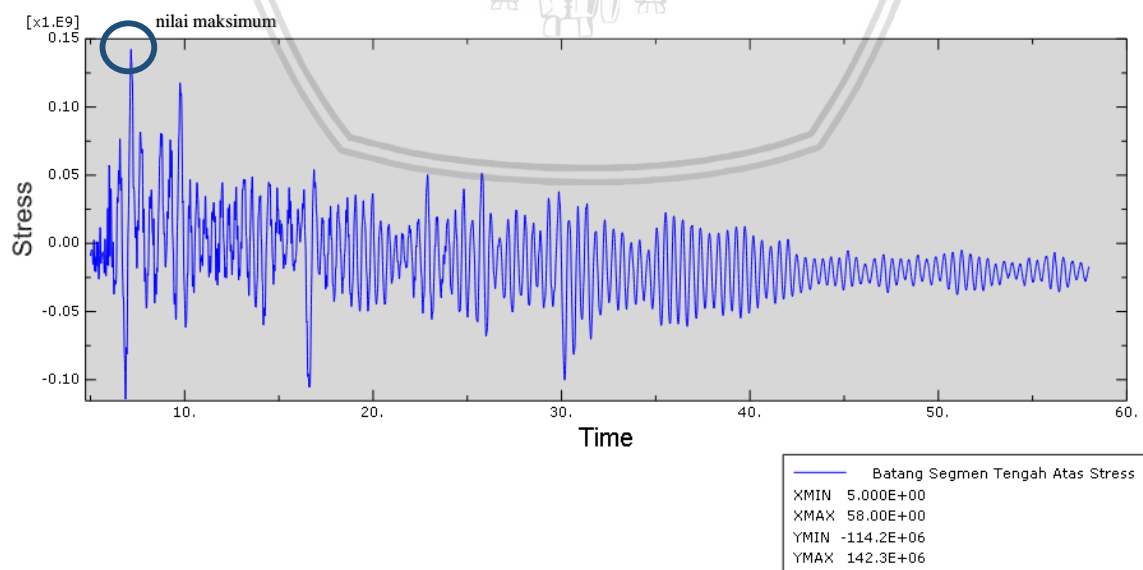
Selain menghasilkan tegangan dan regangan, hasil analisis numerik juga menghasilkan nilai perpindahan yang terjadi pada batang tersebut. Perpindahan pada arah x disajikan pada **Gambar 4.42**. Nilai perpindahan arah x terbilang cukup besar. Hal itu dipengaruhi oleh *input* beban gempa dengan 10x percepatan sehingga hal itu memungkinkan terjadinya perpindahan yang relatif jauh.



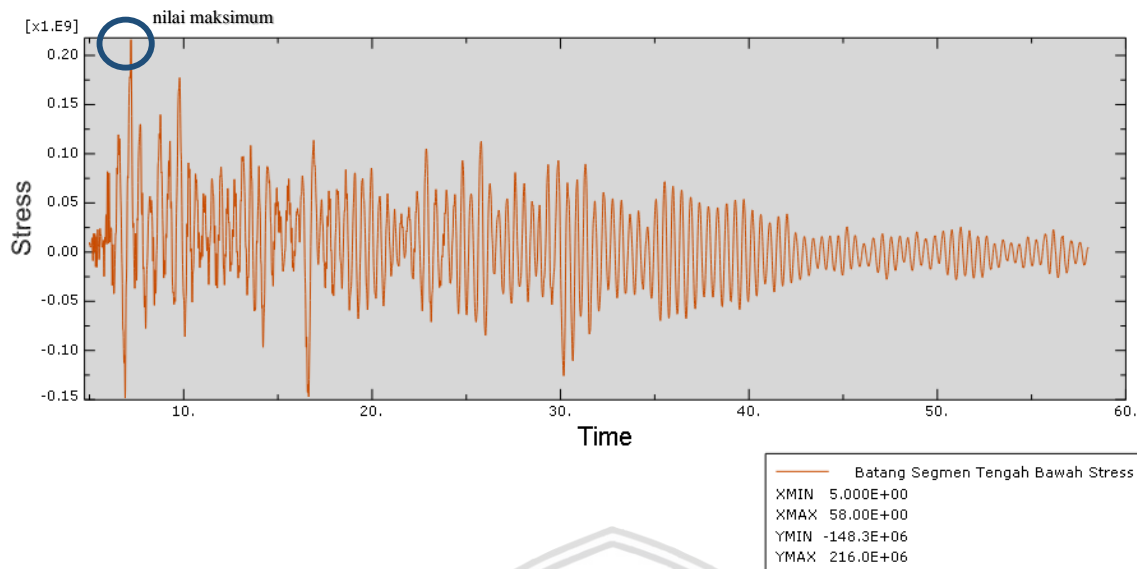
Gambar 4.42 Kurva displacement arah x

4.5.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas

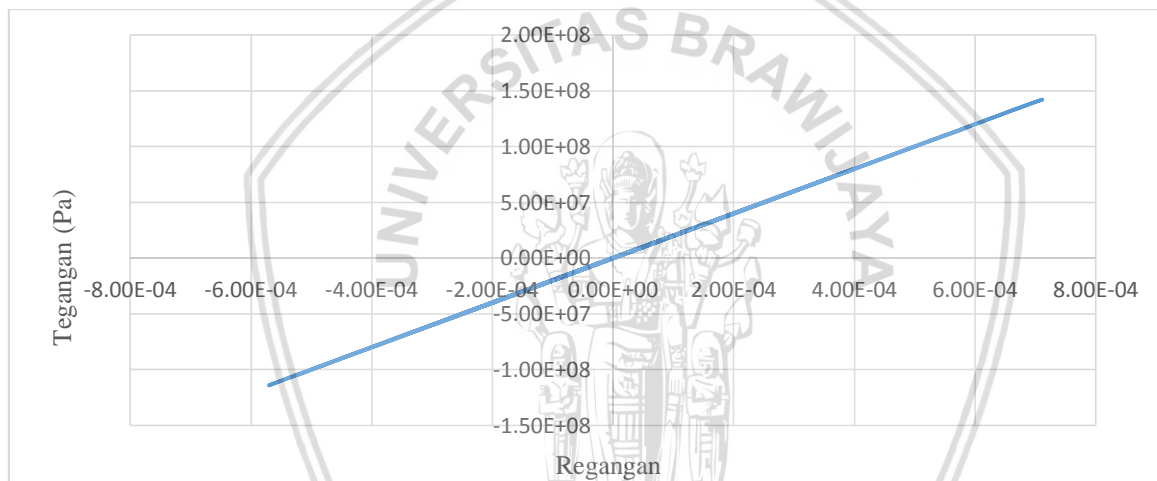
Diantara sisi kiri dan kanan, nilai tegangan yang terbesar ada pada batang segmen tengah bagian atas sisi kanan. **Gambar 4.43** dan **Gambar 4.44** menunjukkan grafik nilai tegangan dan regangan pada batang segmen tengah bagian atas. Nilai tegangan pada batang tarik ini sebesar 142.283 MPa, sedangkan nilai regangan sebesar 0.0007114. Keduanya dihubungkan sehingga membentuk grafik yang disajikan pada **Gambar 4.45**. Apabila dilihat dari nilai tegangan maksimum yang ada pada batang, batang tersebut belum mengalami kerusakan dikarenakan belum mencapai titik leleh ($f_y = 342,65$ MPa). Dalam hal ini, batang masih mengalami fase elastis, yang artinya batang masih dapat kembali ke bentuk awal.



Gambar 4.43 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas

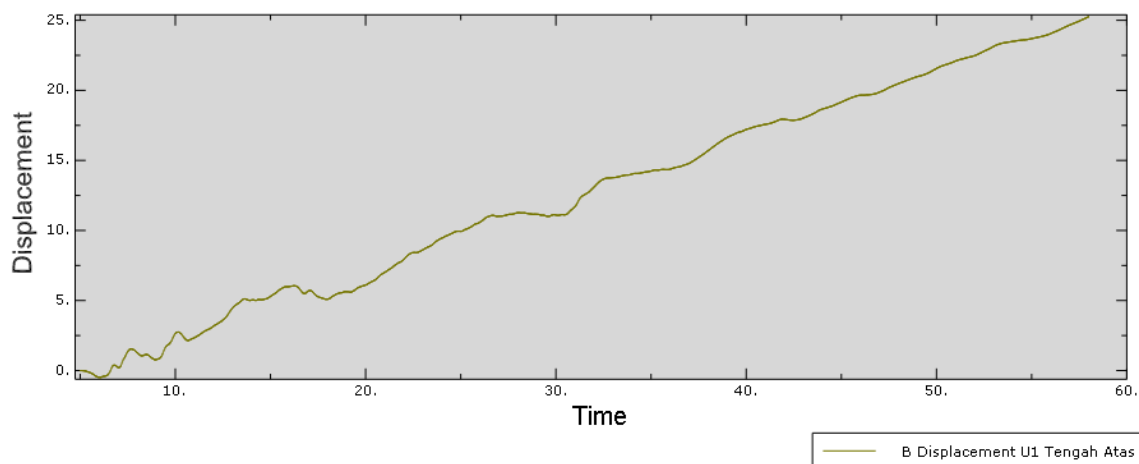


Gambar 4.44 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas



Gambar 4.45 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas

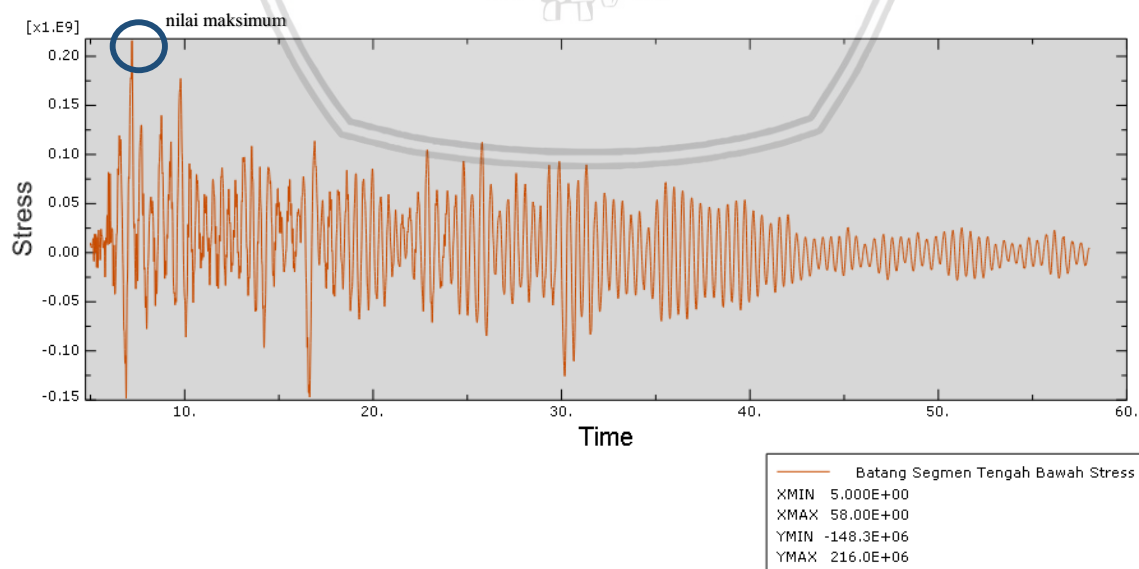
Perpindahan atau *displacement* batang segmen tengah bagian atas ini disajikan dalam **Gambar 4.46**. *Displacement* arah x memiliki nilai yang cukup tinggi. Hal ini dikarenakan, dalam *input* beban gempa dimasukkan beban gempa dengan 10x percepatan. Dengan percepatan sebesar itu memungkinkan terjadinya perpindahan yang cukup jauh pula.



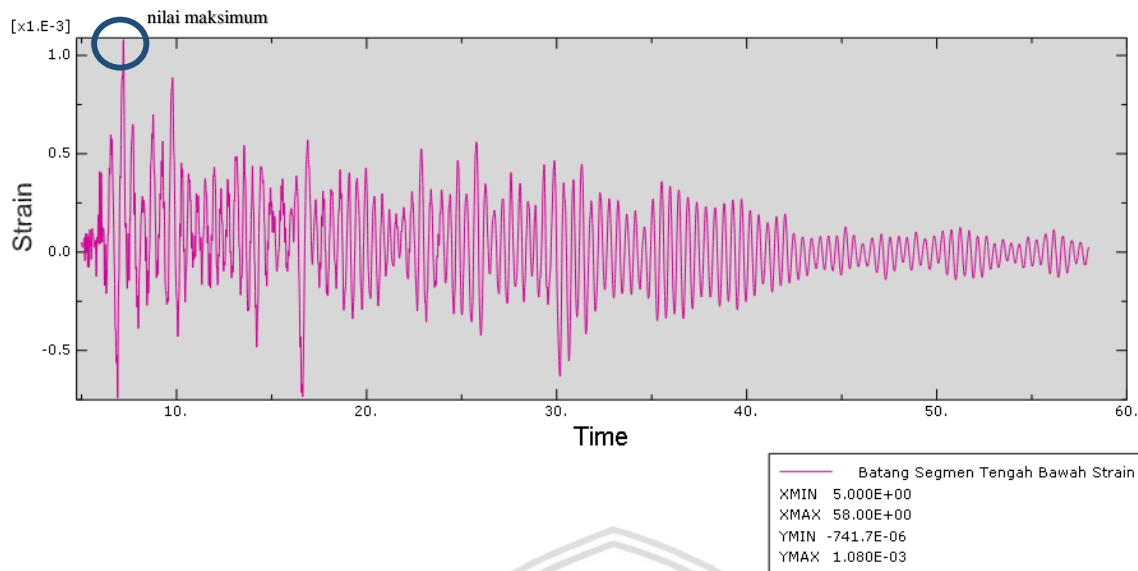
Gambar 4.46 Kurva displacement arah x

4.5.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah

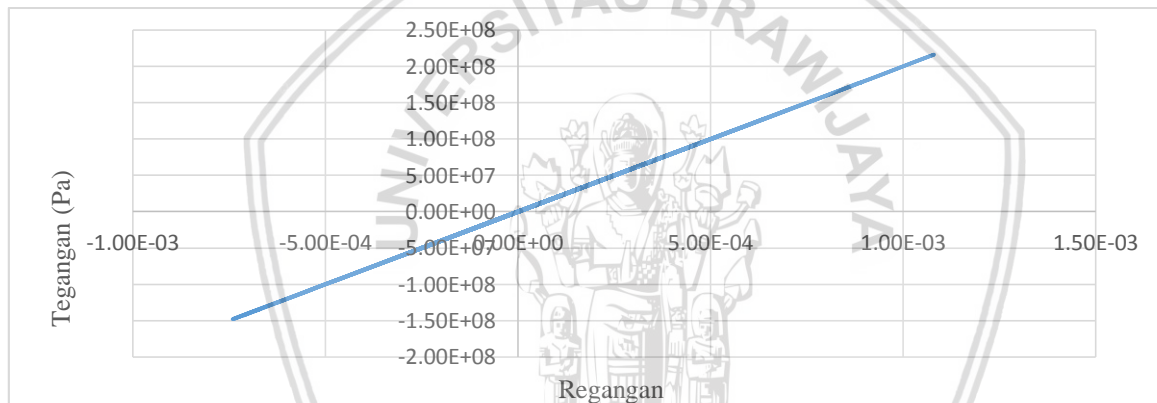
Berbeda dengan batang segmen tengah bagian atas, batang segmen tengah bagian bawah memiliki nilai tegangan yang lebih besar pada batang yang berada pada sisi kiri. Nilai tegangan dan regangan disajikan pada **Gambar 4.47** dan **Gambar 4.48**, sedangkan hubungan antara keduanya disajikan pada **Gambar 4.49**. Nilai tegangan tarik pada batang ini sebesar 216.014 MPa, sedangkan nilai regangan sebesar 0.0010801. Dari gambar dan nilai tegangan maksimum menunjukkan bahwa batang belum mengalami kerusakan. Hal tersebut dimungkinkan bahwa beban gempa tiga arah yang terjadi pada batang ini tidak begitu berpengaruh.



Gambar 4.47 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah

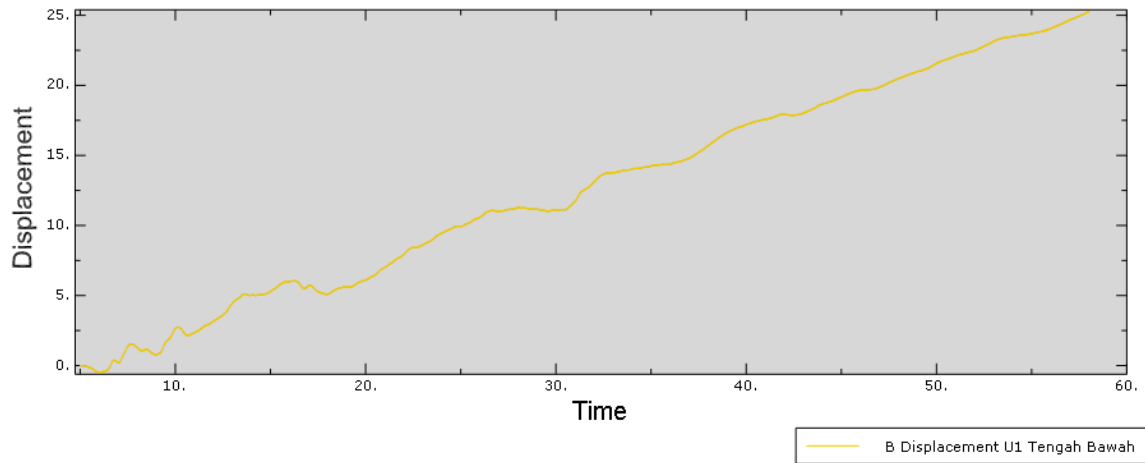


Gambar 4.48 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah



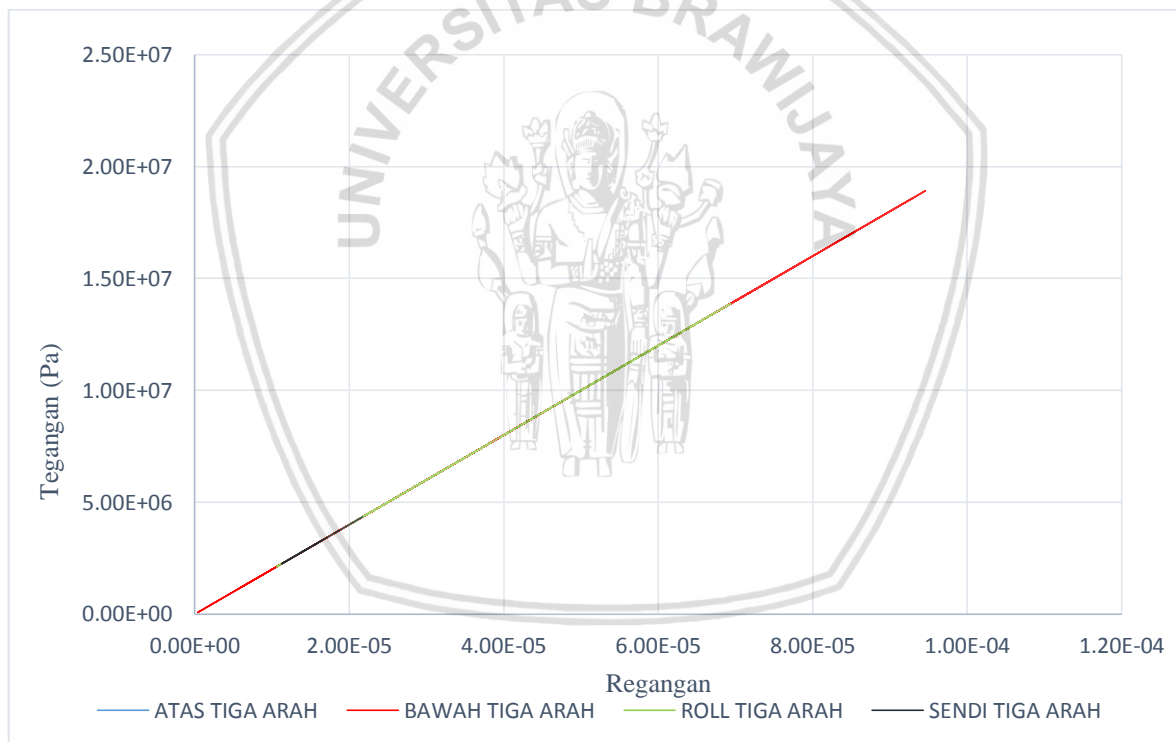
Gambar 4.49 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah

Perpindahan arah x yang terjadi pada batang ini memiliki nilai yang cukup besar. Hal ini disebabkan jembatan menerima beban gempa setelah mengalami 10x percepatan. Jadi, memungkinkan beban gempa mampu mendorong batang hingga sejauh 25 m.



Gambar 4.50 Kurva displacement arah x

4.5.5 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau



Gambar 4.51 Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama

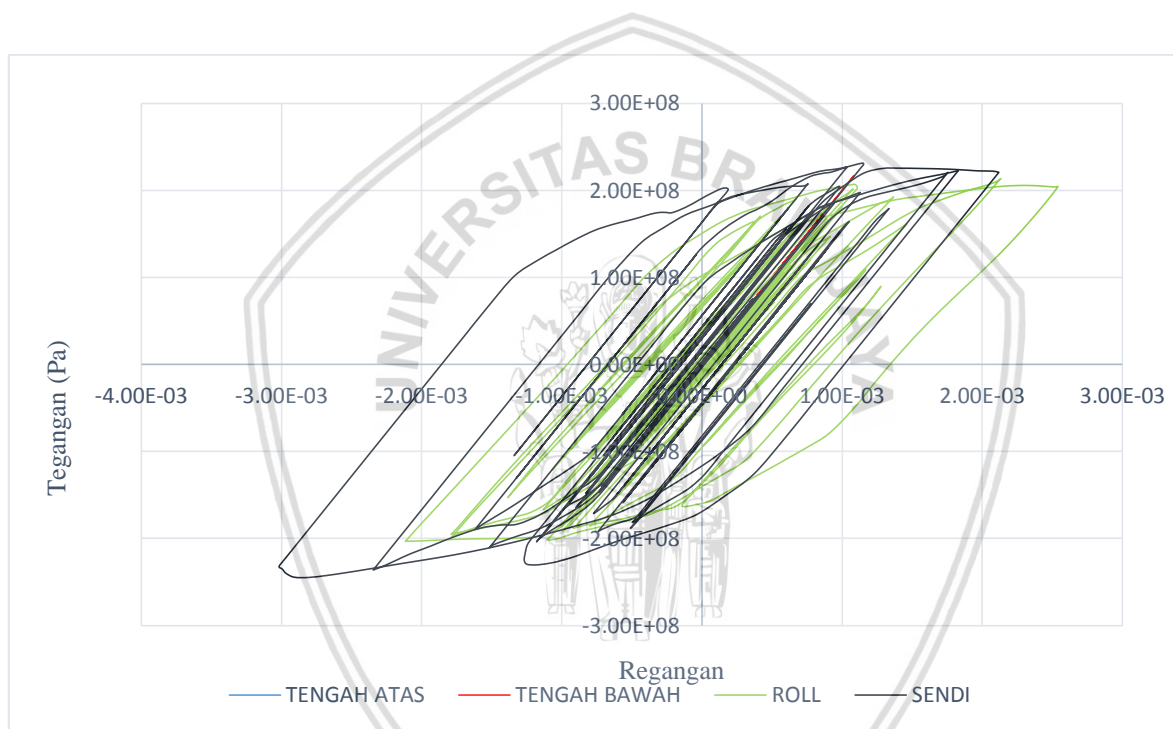
Pada **Gambar 4.51**, menunjukkan hubungan tegangan-regangan yang terjadi pada saat seperempat siklus pertama di batang yang berbeda-beda. Dari gambar dapat kita simpulkan bahwa dari keempat batang tidak memiliki perbedaan yang berarti. Perbedaan dari keempatnya hanya ditemukan pada nilai tegangan maksimum pada tiap batang yang ditinjau. Kecondongan kurva dapat dinilai berdasarkan nilai modulus elastisitas. Dengan

kecondongan garis yang sama menandakan bahwa diantaranya memiliki kekakuan yang hampir sama pula. **Tabel 4.5** menunjukkan nilai modulus elastisitas yang terjadi pada siklus pertama pada masing – masing batang.

Tabel 4.5

Nilai modulus elastisitas pada siklus pertama batang

No	Bagian batang	Tegangan (Pa)	Regangan	E (Mpa)
1	Batang dekat tumpuan sendi	3301940	1.651E-05	200000.000
2	Batang dekat tumpuan rol	10455300	5.228E-05	200000.765
3	Batang segmen tengah atas	4162340	2.081E-05	200000.000
4	Batang segmen tengah bawah	7516840	3.758E-05	200000.000



Gambar 4.52 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau

Gambar 4.52 merupakan gabungan dari grafik hubungan tegangan-regangan dari empat batang yang ditinjau sebelumnya, yakni batang dekat tumpuan sendi dan rol, dan batang segmen tengah atas dan bawah. Dari keempat grafik dapat dilihat bahwa batang dekat dengan tumpuan memiliki nilai tegangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan batang segmen tengah. Batang dekat dengan tumpuan juga memiliki regangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan batang segmen tengah. Grafik kedua batang segmen tengah hampir membentuk linear, artinya keduanya masih dalam kondisi elastis. Jika kondisi masih elastis, maka batang belum bersifat daktail.

Daktail merupakan kemampuan batang dalam meregang setelah melewati titik leleh. Dalam hal ini, hanya batang dekat tumpuan yang sudah bersifat daktail. Jika dibandingkan, batang dekat tumpuan rol lebih bersifat daktail daripada batang dekat tumpuan sendi. Hal itu didasarkan pada selisih antara nilai regangan pada saat batang mulai leleh dengan nilai regangan maksimum pada batang. Selisih dari tiap batang ditunjukkan pada **Tabel 4.6**. Presentase yang ditunjukkan pada tabel merupakan perbandingan antara selisih regangan pada batang dekat tumpuan yang ditinjau dengan batang yang memiliki nilai selisih regangan paling tinggi dalam bentuk persen. Batang dekat tumpuan sendi memiliki nilai daktilitas 2.02% lebih rendah dibandingkan dengan batang dekat tumpuan rol.

Tabel 4.6

Selisih nilai regangan antar batang yang ditinjau

No	Bagian Jembatan	Regangan Leleh	Regangan Maksimum	Selisih Regangan	Presentase (%)
1	Batang dekat tumpuan sendi	0.00076369	0.00253921	0.001776	-2.02
2	Batang dekat tumpuan rol	0.00067891	0.00249106	0.001812	0

Kapasitas struktur jembatan dapat diukur melalui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada jembatan. Tegangan maksimum berarti beban maksimum yang mampu ditahan oleh batang akibat beban gempa dengan 10x percepatan. Hal itu dikarenakan jembatan sudah dianggap runtuh akibat beban gempa dengan 10x percepatan. Oleh karena itu kapasitas struktur jembatan dapat diukur melalui tegangan maksimum yang terjadi.

Pada jembatan ini, batang yang memiliki tegangan maksimum adalah batang dekat tumpuan sendi. Nilai tegangan antar batang yang ditinjau disajikan dalam **Tabel 4.7**. Presentase pada tabel menunjukkan perbandingan selisih antara tegangan maksimum pada masing-masing batang dan tegangan maksimum pada struktur jembatan, dengan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur jembatan dalam persen. Tegangan maksimum batang sebesar 244.182 MPa pada batang dekat tumpuan sendi. Jadi dapat disimpulkan kapasitas struktur jembatan K-Truss akibat beban gempa tiga arah mampu menahan beban hingga 244.182 MPa.

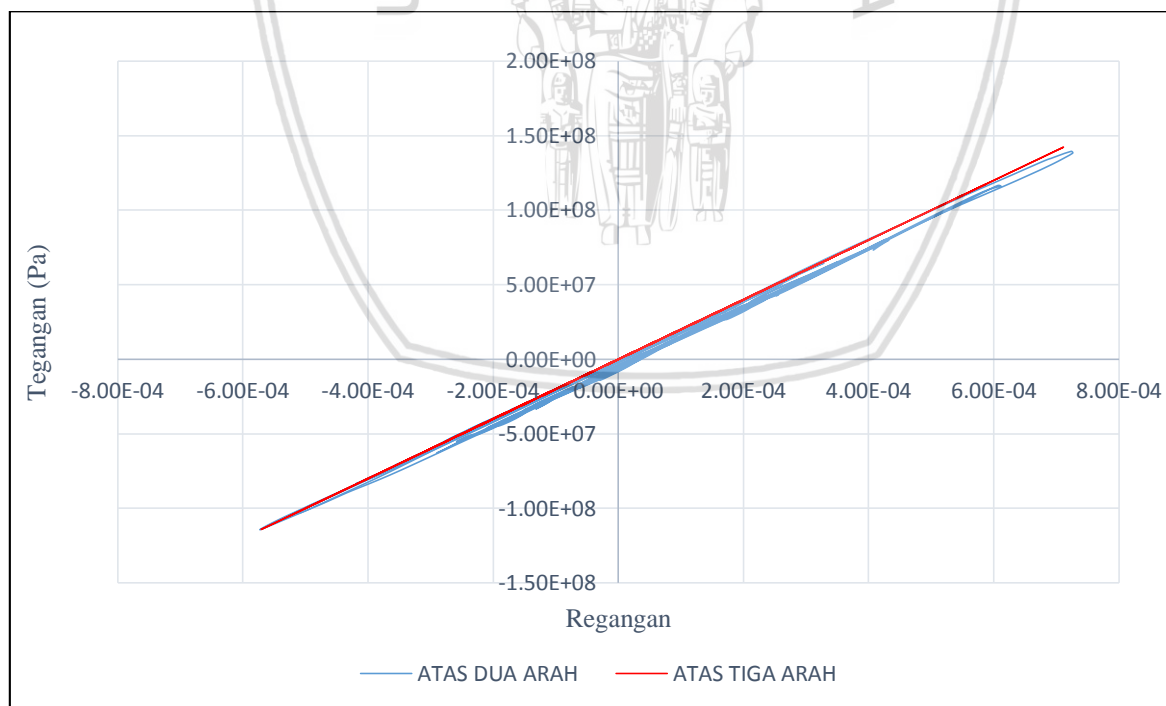
Tabel 4.7

Nilai tegangan maksimum antar batang yang ditinjau

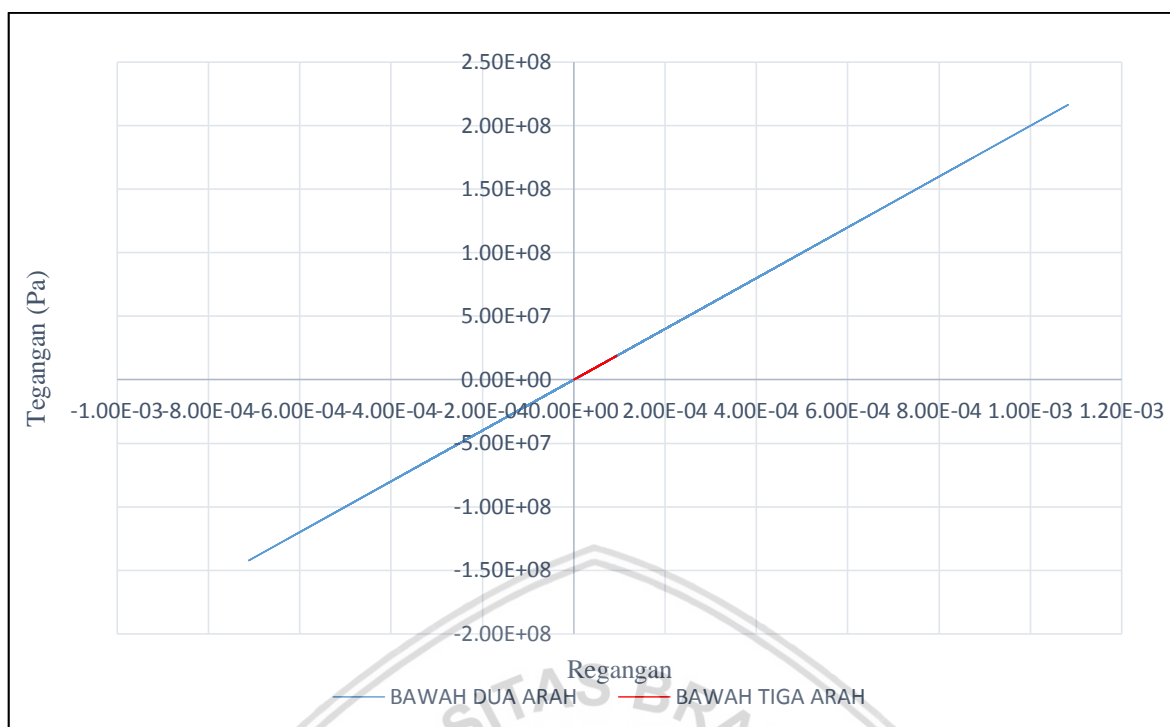
No	Bagian Jembatan	Tegangan Maksimum (Pa)	Presentase (%)
1	Batang dekat tumpuan sendi	244182000	0
2	Batang dekat tumpuan rol	213538000	-12.55
3	Batang tengah atas	142283000	-41.73
4	Batang tengah bawah	216014000	-11.54

4.6 Perbandingan Respon Struktur Jembatan Antara Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah

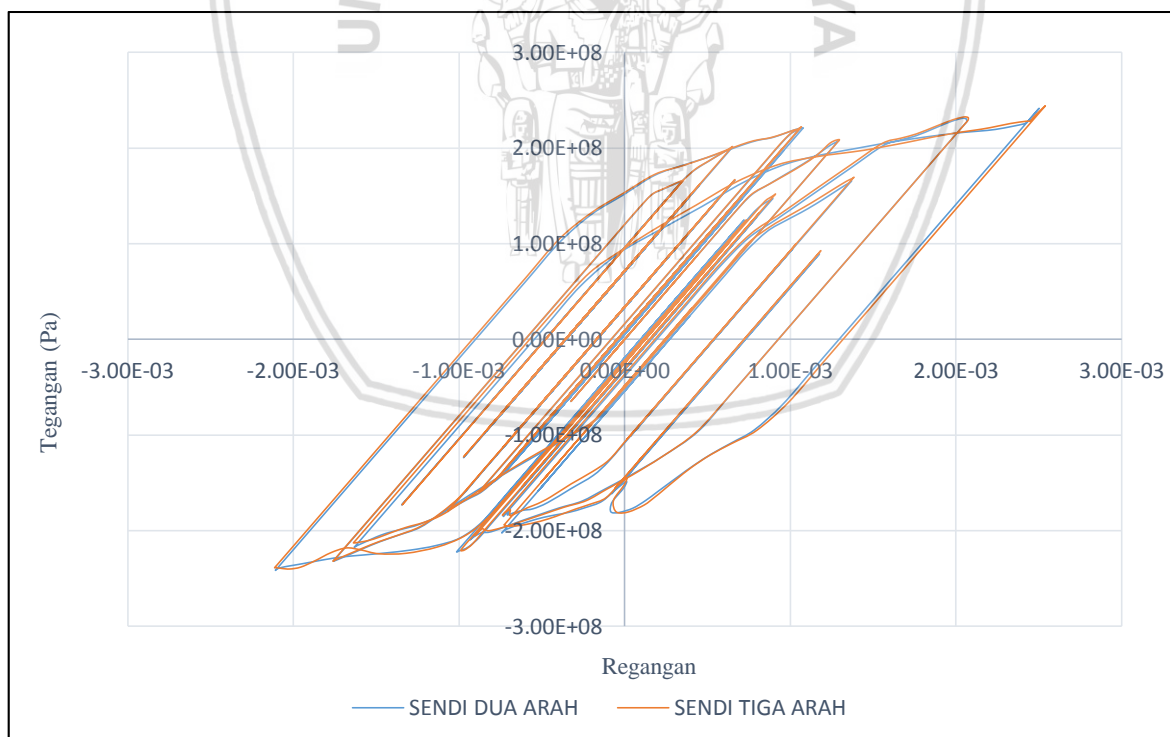
Dari analisis numerik akibat beban gempa dua arah dan tiga arah dapat disimpulkan bahwa batang dekat dengan tumpuan sendi memiliki tegangan yang paling besar. **Gambar 4.53, Gambar 4.54, Gambar 4.55, dan Gambar 4.56** merupakan perbandingan grafik hubungan tegangan-regangan batang dekat dengan tumpuan sendi antara beban gempa dua arah dan tiga arah. Jika dilihat, karakteristik dari kedua grafik hampir sama. Yang membedakan diantara keduanya hanya nilai tegangan dan regangan pada masing – masing batang. **Tabel 4.8** menunjukkan nilai tegangan – regangan dari keduanya.



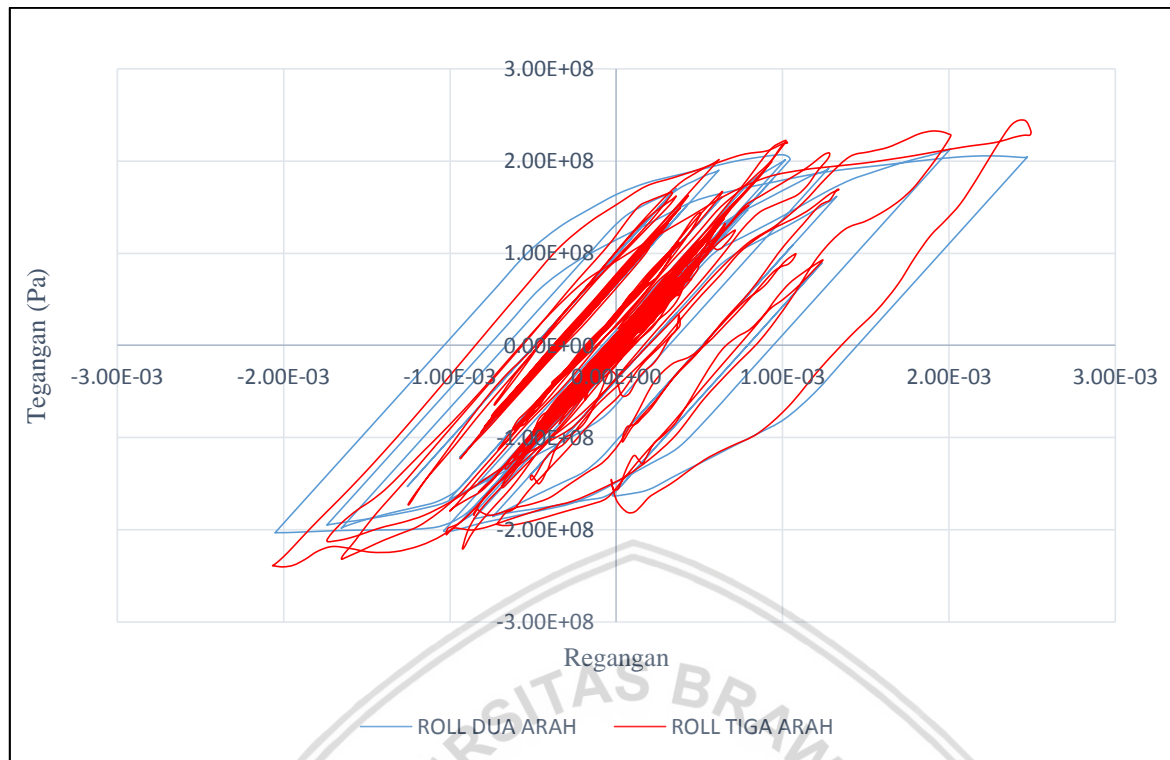
Gambar 4.53 Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah atas akibat beban gempa dua arah dan tiga arah



Gambar 4.54 Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bawah akibat beban gempa dua arah dan tiga arah



Gambar 4.55 Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang tumpuan sendi akibat beban gempa dua arah dan tiga arah



Gambar 4.56 Grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang tumpuan rol akibat beban gempa dua arah dan tiga arah

Tabel 4.8

Nilai tegangan maksimum antar batang yang ditinjau

No	Bagian Batang	Tegangan Maksimum (Pa)		Presentase (%)
		Beban Gempa Dua Arah	Beban Gempa Tiga Arah	
1	Batang dekat tumpuan sendi	241547000	244182000	1.091
2	Batang dekat tumpuan rol	213259000	213538000	0.131
3	Batang segmen tengah atas	139491000	142283000	2.002
4	Batang segmen tengah bawah	216592000	216014000	0.267

Nilai yang disajikan pada **Tabel 4.8** menunjukkan bahwa batang yang diberikan beban gempa tiga arah memiliki tegangan 2.002% lebih besar jika dibandingkan dengan batang yang diberikan beban dua arah. Hal itu dapat disimpulkan bahwa beban gempa tiga arah tidak begitu memberikan pengaruh yang besar pada batang tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis pada struktur jembatan *K-Truss* yang dimodelkan dengan menggunakan jembatan K.H. Fattah Malang terhadap gempa El Centro, California, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas struktur jembatan *K-Truss* didapatkan dari nilai tegangan maksimum jembatan yakni pada batang dekat tumpuan sendi akibat beban gempa dua arah sebesar 241.547 MPa, sedangkan untuk kapasitas struktur jembatan *K-Truss* akibat beban tiga arah sebesar 244.182 MPa. Beban gempa tiga arah berpengaruh 2.002% lebih tinggi jika dibandingkan dengan akibat beban gempa dua arah.
2. Batang dekat tumpuan rol merupakan batang yang paling daktail diantara lainnya dengan nilai 2.62% lebih daktail jika dibandingkan dengan batang dekat tumpuan rol.

5.2 Saran

1. Dalam analisis selanjutnya dapat menggunakan konfigurasi rangka yang berbeda.
2. Dalam pemodelan jembatan pada penelitian ini bentuk yang digunakan dalam part module yaitu beam, untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan part module shell agar dapat memberikan hasil yang lebih detail.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abaqus Analysis User's Manual 6.9. Dassault Systems Simulia Corp., Providence. RI. USA
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *RSNI T-02-2005. Standar Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chen, W. & Duan, L. (2000). *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2000
- Gere, J.M., Timoshenko. 1997. *Mekanika Bahan – Terjemahan Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- PPPJR. (1987). *Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya dan Brigde*.
- Salim, A.A. (2018). *Studi Numerik dan Eksperimental Distribusi Tegangan-Regangan Baja*. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Satyarno, I. (2003). *Analisis struktur jembatan*, Jurusan T.Sipil FT UGM, Yogyakarta.
- Setiawan, Agus. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga.
- Supriadi, Bambang., Agus Setyo Muntohar. (2007). *Jembatan*. Cetakan Ke-4. Yogyakarta: Beta Offset.
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Universitas Islam Indonesia Press.
- Wijaya, M.N., Susanti, L., Setyowulan, D. & Salim, A.A. (2017). *Effects of Using Lower Steel Grade on the Critical Members to the Seismic performance of Steel Truss Bridge Structures*. *IJCIET*. Vol. 8, No.10:948-955.